

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE  
POUR LES PROJETS DE RÉUTILISATION  
DES EAUX USÉES EN IRRIGATION

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR  
MOHAMMED BENZARIA

MARS 2008

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

À mon épouse Latifa qui m'a soutenu tout au long de ce travail, sans ce soutien  
je n'aurais pas pu terminer ce mémoire.

## **REMERCIEMENTS**

J'aimerais témoigner de ma reconnaissance à Patrick Béron, mon directeur de mémoire, pour m'avoir donné la chance de travailler sur un sujet qui me passionnait. Son soutien, sa vision, sa clarté, son efficacité et sa détermination m'ont été très profitables à l'accomplissement de ce travail.

J'aimerais également remercier tous ceux et celles qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX .....	vii
RÉSUMÉ .....	viii
CHAPITRE I	
MISE EN CONTEXTE .....	1
1.1 Cycle de l'eau .....	1
1.2 Activités anthropiques .....	2
1.3 Qualité de l'eau .....	3
CHAPITRE II	
PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE .....	5
2.1 Introduction .....	5
2.2 Réutilisation des eaux usées .....	10
2.2.1 Définition .....	10
2.2.2 Historique de la réutilisation .....	10
2.2.3 Normes .....	11
2.2.4 Avantages de la réutilisation des eaux usées traitées .....	13
2.2.5 Inconvénients de la réutilisation .....	14
2.3 Objectif de la recherche .....	15
CHAPITRE III	
MÉTHODOLOGIE .....	16
3.1 Inventaires des systèmes .....	18
3.1.1 Système de collecte .....	20
3.1.2 Système d'assainissement .....	21
3.1.3 Système de sol .....	21
3.1.4 Système d'irrigation .....	22
3.1.5 Système de culture .....	24
3.1.6 Système économique .....	25
3.1.7 Système environnemental .....	26
3.1.8 Système social .....	26
3.1.9 Synthèse .....	29

3.2 Les principes du développement durable .....	29
3.2.1 Historique .....	29
3.2.2 Le développement durable.....	31
3.2.3 Les principes du développement durable .....	32
3.3 Formulation de question.....	45
3.4 Élaboration de la grille .....	48
3.4.1 Cas de S/O : collecte/précaution.....	51
3.4.2 Cas de Oui : système de culture/précaution.....	51
3.4.3 Cas de Non .....	51
3.4.4 Oui/mais .....	53
3.5 Grille locale.....	54
CHAPITRE IV	
DISCUSSION .....	58
4.1 Choix des systèmes .....	58
4.2 Les principes du développement durable .....	59
4.3 Choix de la question .....	60
4.4 Élaboration de la grille .....	61
4.5 Limites de la méthode : .....	63
BIBLIOGRAPHIE .....	66
ANNEXE A	
BESOINS EN EAU DE QUELQUES CULTURES .....	69
ANNEXE B	
DIRECTIVES DE QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE RECOMMANDÉE POUR L'USAGE D'EAU USÉE EN AGRICULTURE .....	71
ANNEXE C	
CONSTITUANTS D'INTÉRÊT SPÉCIAL DANS LE TRAITEMENT DES EAUX RÉSIDUAIRES ET DE L'IRRIGATION AVEC DES EAUX USÉES TRAITÉS .....	73
ANNEXE D	
TYPES DE TRAITEMENT D'EAUX USÉES EN FONCTION DES CULTURES ET SELON LES PAYS .....	76
ANNEXE E	
NORMES POUR L'UTILISATION DE L'EAU D'IRRIGATION .....	78
ANNEXE F	
STRUCTURE DU SOL .....	81

ANNEXE G	
LES 27 PRINCIPES DE LA DÉCLARATION DE RIO .....	85

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

	Page
Figure 1 - Processus de décision	17
Figure 2 - Systèmes d'irrigation	19
Figure 3 - Schéma du filtre	46
Tableau 1 - Comparaison des rendements en t/ha	9
Tableau 2 - Systèmes et paramètres d'irrigation	20
Tableau 3 - Grille générale	50
Tableau 4 -Grille locale	56



## RÉSUMÉ

Le problème de l'eau se pose avec acuité aussi bien au Nord qu'au Sud, chez les uns en terme de qualité, chez les autres en terme de quantité.

L'accroissement démographique, les activités anthropiques et les changements climatiques exercent une grande pression sur la ressource « eau ». Celle-ci diminue à cause de la surexploitation des nappes, de la pollution des lacs et des rivières, etc. Pour disposer de plus d'eau douce pour les usages industriels et d'eau potable, l'agriculture, qui consomme près de 70% de toute l'eau douce utilisée, doit réutiliser davantage les eaux usées en irrigation. Cette réutilisation permet, en plus de l'eau, d'apporter des fertilisants et de la matière organique.

La réutilisation des eaux usées a toujours existé, mais elle a toujours été traitée d'une façon monodisciplinaire, le seul critère retenu étant la santé humaine. Toutes les normes de l'OMS ont été élaborées dans un souci sanitaire. Celles-ci ont été d'une part contraignantes, car difficile à respecter par les pays en voie de développement et, d'autre part, ont posé le problème d'acceptabilité sociale (image négative d'une eau considérée dangereuse).

Le travail consiste à élaborer un outil de prise de décision qui, d'une part, intègre le nombre maximum de systèmes dans lesquels s'inscrit la réutilisation des eaux usées, et donc plusieurs critères et, d'autre part, permet de s'assurer que ce type de projet s'inscrit dans une perspective de développement durable et ce dès son élaboration.

Une approche théorique a été adoptée, elle consiste à inventorier les systèmes mis en jeu dans le projet, à choisir les principes du développement durables qui cadrent avec le projet et d'élaborer une grille pour aider à la prise de décision. Cette approche doit pouvoir se généraliser à d'autres problématiques environnementales présentant des similitudes. Le présent travail ne présente aucune validation sur le terrain.

Les difficultés rencontrées sont d'ordre théorique, notamment la définition des paramètres liés aux systèmes, le nombre de principes à choisir parmi les vingt sept du développement durable, la formulation de la question et l'évaluation au niveau de la grille.

Mots-clés : réutilisation des eaux usées, irrigation, développement durable, grille décisionnel.

# **Chapitre I**

## **MISE EN CONTEXTE**

L'eau en tant qu'élément indispensable à toute forme de vie n'est pas disponible en quantité infinie sur notre planète. En effet, sur un volume total de l'ordre de 140 millions de kilomètres cubes d'eau, 97% se trouvent dans les océans et l'eau douce ne représente que 3%, dont les  $\frac{3}{4}$  sont sous forme de glace inexploitable. Seule une infime partie des eaux du globe est exploitable sous forme de lacs, de rivières et de nappes souterraines. Cette eau douce, qui représente une très faible partie du volume d'eau sur la planète, est inégalement répartie puisque 10 pays se partagent 60% de l'eau douce globale (Barlow et Clarke, 2005).

### **1.1 Cycle de l'eau**

Le cycle de l'eau représente un équilibre à l'échelle du globe; ainsi, la quantité évaporée 505 000 km<sup>3</sup> (434 000 km<sup>3</sup> d'eaux océaniques et 71 000 km<sup>3</sup> d'eaux continentales) est la même que celle qui tombe sous forme de précipitations (398 000 km<sup>3</sup> d'eaux océaniques et 107 000 km<sup>3</sup> d'eaux continentales) dont 36 000 km<sup>3</sup> qui ruissellent des continents vers les océans (Bourque 2006). Globalement, les grands réservoirs, naturellement, sont à niveau constant et les flux, annuellement et intégrés sur la Terre, sont aussi constants. Ceci est dû à un mélange complexe de physique, d'hydraulique, d'hydro-dynamique, de météorologie, de climatologie, de biologie, etc.

Bien que la quantité d'eau sur la planète puisse satisfaire aux besoins humains, des disparités régionales existent et l'eau est inégalement répartie sur la planète. En effet il se trouve des zones où il ne pleut presque pas, ce qui a entraîné l'apparition des étendues désertiques (Australie, Afrique, États-Unis, Mexique, etc.) et au contraire, d'autres zones du globe connaissent des précipitations abondantes qui provoquent parfois des inondations.

## 1.2 Activités anthropiques

Le cycle naturel de l'eau subit actuellement des perturbations liées aux changements climatiques et surtout par des activités anthropiques. On peut citer entre autres perturbations anthropiques, la déforestation, l'aménagement des cours d'eau pour la navigation, la construction de barrages, l'industrialisation, l'urbanisation, le bétonnage, etc. Toutes ces activités anthropiques ont une influence aussi bien sur la dégradation de la qualité de l'eau que sur la quantité. La déforestation par exemple, contribue à la désertification : en fait, une forêt humide par le feuillage, l'humus et la strate herbacée, favorise l'infiltration des eaux de pluie ce qui alimente les nappes phréatiques. Lors des coupes, le phénomène de ruissellement devient important ce qui entraîne l'érosion des sols.

Ces perturbations ont pour conséquences d'amplifier les disparités régionales, les inondations deviennent plus fréquentes et plus intenses et la désertification gagne de plus en plus de pays.

L'eau est devenue un facteur limitant au développement dans plusieurs pays et d'autres elle le sera à moyen terme. Selon le Water Resources Industry (1992), 250 millions d'individus dans 26 pays se trouvent en pénurie d'eau et 400 millions vivent en stress hydrique. La pénurie est définie lorsque la valeur des ressources renouvelables de l'eau par habitant et par an est inférieure à 1000 mètres cubes, alors que le stress est défini si cette valeur est entre 1000 et 1700 mètres cubes/hab/année (UNFPA, 2001). Selon le programme des Nations Unies pour l'environnement, actuellement l'Afrique du Nord et le Moyen Orient sont en déficit hydrique, d'ici 25 ans la moitié des pays en Afrique devraient manquer d'eau, tandis que la Chine et l'Inde seraient en stress hydrique. À précipitation annuelle égale, l'augmentation de la densité de la population accentue évidemment la non uniformité de ce phénomène. Cette variation régionale de la densité fait en sorte que la Chine, avec 22% de la population mondiale, ne dispose que de 7% des ressources en eau, alors que le Canada avec 0,5% de la population mondiale en dispose de 9% (Brooks, 2002).

### 1.3 Qualité de l'eau

En plus de l'aspect quantitatif et de la répartition de la ressource, qui posent un problème crucial pour le développement et le bien être des gens, et à cause desquels des conflits éclatent et risquent de s'intensifier : (bassin du Nil, le Tigre et l'Euphrate etc.; (Barlow et Clarke, 2005), l'aspect qualitatif complique aussi davantage la problématique de l'eau. Cet aspect résulte en bonne partie de la pollution des eaux par les rejets des eaux domestiques, industrielles ou agricoles.

Dans les pays riches et développés, et pour faire face à ces problèmes de qualité de l'eau qui dégradent l'environnement, de vastes programmes pour collecter les eaux usées ont été mis en place suivis par l'implantation des stations de traitement pour éviter des rejets bruts dans le milieu naturel (Bigirindavyi, 2003).

Depuis toujours, l'évacuation des eaux usées loin des habitants, a été une préoccupation des villes. Les Romains avaient déjà des systèmes d'évacuation perfectionnés. Le premier réseau moderne apparaît en Allemagne en 1843. En 1960, seulement 12% des Français sont reliés au tout-à-l'égout (CIEAU). L'assainissement existe donc depuis longtemps dans les pays développés, et a pris beaucoup de temps pour se réaliser avec une accélération au vingtième siècle avec le développement scientifique et technique. Par exemple le Québec a réalisé l'essentiel de ses infrastructures d'assainissement des eaux durant ces 30 dernières années. Tandis que Dans les pays en développement, le retard est alors installé, et pour le combler il faut beaucoup de temps, beaucoup d'argent et surtout beaucoup de volonté. Il y a donc un déficit d'infrastructure en matière d'assainissement et les rejets des eaux usées dans le milieu naturel aggravent la crise d'eau. En effet ces rejets polluent les nappes, les cours d'eau et les lacs et diminuent donc le potentiel des ressources exploitables.

Dans ces pays, le choix des investissements est orienté vers des activités économiquement rentables dans l'immédiat, les services comme l'eau potable et l'assainissement étant délaissés et différés à tort pour plus tard.

Ce choix explique que ces deux services ont accusé des retards considérables dans ces pays, beaucoup plus en matière d'assainissement que d'eau potable. Les réseaux d'égout et les

stations d'épuration n'ont pas suivi d'une manière planifiée la croissance démographique et urbaine et l'accroissement de l'approvisionnement en eau potable des agglomérations. Cette situation a engendré de graves problèmes sanitaires et environnementaux.

Les conséquences des problèmes liés à la quantité et à la qualité de l'eau se font encore sentir d'une manière dramatique sur les populations. Les maladies transmises par l'eau et la non salubrité causent la mort d'environ 34 000 personnes par jour dans le monde (Dean et Lund, 1981).

Malgré l'immense travail accompli par les organisations internationales pour améliorer la situation de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement, près de 1,1 milliard de personnes n'ont pas accès à des sources d'eau potable et environ 2,4 milliards à une forme quelconque de service d'assainissement (OMS, 1989).

## **CHAPITRE II**

### **PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE**

#### **2.1 Introduction**

L'eau est indispensable à la vie pour tous les êtres vivants. Elle est aussi indispensable à toute activité économique, industrielle, agricole ou autre. Bien que globalement le cycle de l'eau soit en équilibre, et que l'eau soit suffisante théoriquement pour les besoins de l'ensemble des habitants du globe, elle est répartie tel que vu précédemment d'une manière inégale, et des régions souffrent d'excès d'eau, d'autres de déficit. Les changements climatiques et les activités anthropiques perturbent cet équilibre et aggravent la crise de l'eau.

L'eau douce est partagée entre les principales activités comme suit :

- Agriculture : 70%
- Industrie : 20%
- Eau potable : 10%

L'agriculture irriguée constitue donc l'activité humaine qui consomme la part la plus importante de l'eau. L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des cultures pour en augmenter la production. Elle permet un développement normal des cultures en cas de déficit d'eau induit par une pluviométrie insuffisante ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi arides. L'irrigation a contribué à la révolution verte qui a eu pour conséquence un accroissement spectaculaire de la production agricole, et qui a permis d'éviter des famines catastrophiques, suite à une augmentation très importante de la population mondiale et particulièrement dans les pays du tiers monde.

La répartition entre les différents usages ne pose pas de problème dans les pays où il y a suffisamment d'eau; par contre, dans les pays déficitaires, des remises en cause de l'eau utilisée en agriculture commencent à se produire. Le manque d'eau peut mettre en péril l'économie de ces pays, voire même mettre la vie des gens en danger. Ces remises en cause concernent particulièrement les cultures qui consomment beaucoup d'eau qui sont souvent destinées à l'exportation ( Annexe A). Si un pays exporte vers un autre pays une denrée dont la production nécessite beaucoup d'eau, cela revient à exporter de l'eau sous une forme virtuelle et, au contraire, le pays importateur n'a pas besoin d'utiliser cette quantité d'eau pour produire lui-même cette marchandise. De cette façon, le pays importateur économisera des quantités importantes d'eau et allègera la pression sur ses ressources hydriques, surtout s'il est en déficit. Entre 1995 et 1999, le volume des échanges mondiaux d'eau virtuelle liée aux produits d'origine agricole a été, en moyenne, d'environ 695 milliards de mètres cubes par an. Cela représente environ 13 % de la consommation mondiale d'eau dans l'agriculture (Sivakuma, 2004).

Toutes ces remises en cause trouvent par ailleurs une justification économique : en effet, 1 m<sup>3</sup> d'eau utilisé en industrie ou dans le secteur des services est 200 fois plus rentable que s'il est utilisé en agriculture (Mara, 2004). Il ressort alors que, pour tirer profit de cette ressource, il vaut mieux l'utiliser dans les secteurs où elle sera la plus rentable.

L'accroissement démographique est un autre facteur qui amplifie la pression sur la ressource. En effet, la population de la terre devrait passer de 6 à environ 9 milliards d'habitants d'ici l'an 2050 et la population urbaine de 46% à 60% avec plusieurs agglomérations dépassant les 10 millions d'habitants (UNFPA, 2001). Cette augmentation de la population, conjointement avec une tendance vers un mode de vie plus urbain que rural, pose de nouveaux défis pour la satisfaction en priorité des besoins en eau potable qui grandissent sans cesse.

Cette situation est plus critique dans plusieurs pays des régions arides et semi-arides où la pénurie d'eau est devenue un facteur limitant au développement et constitue un défi économique, social et politique important. La population dans ces pays augmente considérablement et le besoin en nourriture et en eau croît continuellement. Traditionnellement, la solution consistait à mobiliser davantage de ressources pour satisfaire



les besoins en eau potable et pour développer de nouveaux périmètres irrigués (Valiron et *al*, 1983). Actuellement, presque toutes les ressources accessibles d'eau douce dans ces régions sont déjà mobilisées. Comme la ressource en eau n'est pas extensible, et qu'elle est même déjà déficitaire dans plusieurs pays, il y aura donc des décisions à prendre et des choix à faire pour l'allocation de cette ressource entre les différents usages.

Il est donc normal de se tourner vers d'autres ressources en eau « non conventionnelles » pour faire face à l'accroissement de la demande en irrigation. L'agriculture, la plus grande consommatrice d'eau, doit céder une part aux autres (eau potable et industrielle). Cette diminution d'allocation d'eau de l'agriculture ne doit pas s'accompagner d'une diminution au niveau de la production. L'agriculture est aussi appelée à subvenir aux besoins de plus en plus croissants de cette population en constante augmentation. Selon la FAO (Collomb 1999), pour subvenir aux besoins alimentaires de la population future, la superficie irriguée devrait s'accroître de 33% d'ici 2010 et de 53% d'ici 2025. Cet accroissement de l'irrigation s'accompagne d'une forte consommation d'eau qui risque de se faire aux dépens de l'eau potable et de l'industrie qui elles aussi augmentent sans cesse. C'est vraiment la quadrature du cercle que de chercher à résoudre ce dilemme entre des besoins sans cesse croissants de l'eau potable et industrielle à satisfaire en priorité, et des besoins d'irrigation pour subvenir à des besoins aussi sans cesse croissants de nourriture.

Pour sortir de ce cercle vicieux, il est possible de rationaliser la ressource entre les différents usages. L'eau douce devrait donc servir à combler en priorité les besoins d'eau potable et industriels, qui ne peuvent s'accommoder que de cette eau, et par la suite l'irrigation. L'agriculture, grande consommatrice d'eau (70%), est le secteur à satisfaire et où une recherche de solutions alternatives est possible. Parmi celles-ci se trouvent : l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation, l'amélioration de la productivité du m<sup>3</sup> d'eau, le dessalement d'eau de mer, etc. Ces alternatives, bien qu'elles puissent améliorer la situation, ne peuvent à elles seules résoudre le problème. En effet, l'amélioration et l'efficacité sont plafonnées, le dessalement coûte très cher et l'agriculture ne peut rentabiliser le m<sup>3</sup> d'eau produit par cette technique. Étant donné que l'agriculture peut parfaitement s'accommoder avec une eau de qualité moindre que les deux autres secteurs, l'alternative qui consiste à substituer l'utilisation d'une partie de l'eau douce (conventionnelle) en irrigation, par une eau souvent



rejetée dans le milieu naturel semble être une solution. Il s'agit alors de réutiliser les eaux usées domestiques pour l'irrigation, surtout que ces eaux proviennent des centres urbains qui grandissent sans cesse, consomment de plus en plus d'eau potable et rejettent de plus en plus d'eaux usées et où les besoins alimentaires sont de plus en plus grands. La réutilisation des eaux usées en irrigation aura donc un impact très positif sur l'assainissement qui est resté le parent pauvre et qui n'a pas été suffisamment développé. En effet, beaucoup de pays ont investi des moyens financiers importants pour mobiliser et transférer des ressources en eau potable au profit des villes et, au contraire, ils n'ont pas fait assez pour collecter ces eaux usées ou même les traiter. Celles-ci génèrent des dommages à l'environnement, occasionnent des problèmes de santé humaine et privent les communautés d'une eau supplémentaire pouvant mettre en valeur des terres.

Depuis toujours, la gestion des ressources en eau ne tient compte que du calcul statique de la relation : précipitation-ruissellement-évaporation et néglige le recyclage des eaux usées qui peut être important. La pénurie d'eau a imposé une nouvelle vision pour gérer les ressources hydriques en y intégrant la composante recyclage des eaux usées. La réutilisation des eaux usées doit désormais faire partie intégrante de la gestion et de la planification des ressources en eau. L'exemple suivant montre bien comment une gestion intégrée des ressources en eau en y incluant le volet recyclage, peut être bénéfique économiquement, socialement et sur le plan environnemental.

Exemple : les eaux usées d'une ville de 500 000 habitants qui consomment 200l/d par personne, permettent d'irriguer 6000 ha à raison de 5000 m<sup>3</sup>/ha par an. Cette eau enrichit le sol par des apports annuels de 250 kg/ha d'azote, de 50 kg/ha de phosphate et 150 kg/ha de potasse (Pescod, 1992).

Cet exemple montre comment la réutilisation des eaux usées d'un centre urbain a permis la mise en valeur agricole d'une superficie importante, qui autrement aurait concurrencé ce même centre pour l'eau potable ou serait restée sans mise en valeur. Elle a permis à l'agriculture de disposer en plus de l'eau, des fertilisants et de la matière organique contenus dans les eaux usées. Les éléments chimiques contenus dans les eaux usées, particulièrement l'azote, le phosphore et le potassium (NPK) améliorent les rendements des cultures sans pour

autant augmenter les coûts de production. En effet, l'agriculteur achète habituellement les engrais chimiques qui sont souvent coûteux. Autre conséquence bénéfique : la protection de l'environnement. Les eaux usées ne sont plus rejetées dans le milieu naturel, ce qui évite des dommages environnementaux et particulièrement la pollution des cours d'eau, des nappes phréatiques et des lacs. Elle permet enfin l'amélioration du bien être des populations.

L'irrigation des terres se traduit par une meilleure productivité et des gains économiques conséquents. Comme en témoigne le tableau-1 qui compare les rendements dans différentes situations. Il montre que des cultures comme le blé, le riz et la pomme de terre, irriguées avec des eaux usées brutes ou traitées, par simple lagunage, donnent un meilleur rendement par rapport aux eaux fraîches auxquelles on ajoute des fertilisants chimiques. Ceci montre en quelque sorte que les eaux usées réutilisées en irrigation agricole peuvent non seulement se substituer aux eaux fraîches, mais améliorent les rendements et diminuent les coûts de production.

**Tableau 1**  
Comparaison des rendements en t/ha

<b>Eau d'irrigation</b>	<b>Blé</b>	<b>Riz</b>	<b>Pomme de terre</b>
Eaux usées brutes	3,34	2,97	23,11
Eaux traitées par lagunage	3,45	2,98	22,31
Eaux fraîches + NPK	2,70	2,03	17,16

Source : (Mara, 2004)

La réutilisation des eaux usées en irrigation constitue donc une nouvelle approche intégrée dans la planification et la gestion des ressources en eau et particulièrement dans les pays qui en manquent. Elle permet de libérer les ressources d'eau douce pour l'approvisionnement en eau potable et industrielle, d'avoir un impact environnemental positif et d'améliorer les rendements agricoles.

## **2.2 Réutilisation des eaux usées**

### **2.2.1 Définition**

Selon Valiron et al. (1983), la réutilisation de l'eau est définie ainsi : « La réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques ».

La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation est particulièrement intéressante dans les pays qui ont des ressources hydriques faibles avec présence de saisons sèches et où la compétition avec l'eau potable est très marquée. Dans ces pays, l'irrigation de cultures ou d'espaces verts constitue donc la voie de l'avenir pour la réutilisation des eaux usées urbaines traitées, à court et à moyen termes.

### **2.2.2 Historique de la réutilisation**

La réutilisation des eaux usées est une pratique très ancienne. Au milieu du 19<sup>e</sup> siècle, de nombreuses villes d'Amérique du nord et d'Europe ont adopté l'irrigation des cultures comme moyen d'éliminer leurs eaux résiduaires (Mara et Cairncross, 1991). La raison essentielle était d'empêcher la pollution des cours d'eau et non l'amélioration de la production agricole.

#### **2.2.2.1 En Amérique**

Aux États-Unis, 34 états disposent de réglementations ou de recommandations relatives à l'usage agricole des eaux usées (Ecosse, 2001). Les grandes réalisations sont en Californie où les eaux usées sont utilisés pour irriguer le coton, la luzerne, le maïs, l'orge et la betterave à sucre et en Floride, où en plus des parcs et des golfs, 3000 ha de cultures et de pépinières sont irriguées par les eaux usées traitées. Au Mexique, les eaux usées brutes de Mexico sont réutilisées pour l'irrigation agricole dans le cadre d'un plus grand projet d'irrigation (irrigation de 90 000 hectares de maïs, d'orge et de tomates). Pour l'ensemble des villes mexicaines la superficie irriguée par les eaux usées brutes est de l'ordre de 250 000 ha (Mara et Cairncross, 1991).

### 2.2.2.2 En Méditerranée

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé sur le pourtour sud de la Méditerranée. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie d'eau est particulièrement ressentie. La Tunisie est le premier pays de l'Ouest méditerranéen à avoir adopté des réglementations en 1989 pour la réutilisation de l'eau (Bahri, 2002). On compte environ 6400 hectares irrigués par les eaux usées traitées dont presque 70% sont situés autour de Tunis (grand centre urbain), lieu de production des eaux usées. Les cultures irriguées sont les arbres fruitiers (citrons, olives, pommes, poires etc.), les vignobles, les fourrages (luzerne, sorgho), le coton, etc.

### 2.2.2.3 Australie

L'Australie est un continent sec. L'intensité des précipitations est très variable dans l'espace puisqu'un quart du continent concentre 80% des précipitations. Le plus ancien périmètre irrigué au monde se trouve à Melbourne (créé en 1897) et il comporte 4000 ha (Mara et Cairncross, 1991). Essentiellement, les eaux usées brutes servent à irriguer les pâturages.

### 2.2.2.4 En Chine et en Inde

La Chine et l'Inde, deux pays très peuplés et qui risquent d'être en stress hydrique dans la prochaine décennie, pratiquent à grande échelle la réutilisation des eaux usées en irrigation agricole. Pour l'ensemble des villes chinoises, on compte 1 330 000 ha irrigués par les eaux usées. Pour l'Inde, le total s'élève à 73 000 ha (Mara et Cairncross, 1991).

## 2.2.3 Normes

La réutilisation des eaux usées a toujours été considérée sous l'unique aspect de la protection de la santé humaine, mais pas comme une éventuelle alternative de gestion de ressources en eau, pouvant contribuer au règlement du déficit hydrique. C'est donc une vision monodisciplinaire qui ne tient compte que d'un seul critère, celui de la présence de germes pathogènes dans les eaux usées. Ce critère est à la base des normes de l'OMS qui réglementent la réutilisation des eaux usées (Annexe B).

Pour quelles soient applicables, ces normes impliquent soit le traitement poussé des eaux usées, soit des restrictions quant aux types de cultures. Le respect de ces normes est souvent irréaliste. D'une part, le traitement poussé des eaux usées, pour assurer une protection sanitaire, coûte cher et est difficile à entretenir dans les pays en voie de développement (problème de main d'œuvre qualifiée, de disponibilité en pièces, d'énergie etc.). D'autre part, une restriction quant aux types de cultures, décision prise souvent par les techniciens en absence des agriculteurs, ne permet pas toujours de satisfaire ces agriculteurs, les cultures choisies ne correspondant pas toujours à leurs besoins.

Sans entrer dans le détail des normes de l'OMS, disons tout simplement qu'elles sont basées sur la présence de « coliformes fécaux », critère indirect pour déterminer la présence d'organismes pathogènes. Toutefois, la présence de ces pathogènes ne permet pas d'évaluer le risque de propagation des maladies transmissibles liées à l'utilisation des eaux usées. Ces normes préconisent l'absence de risque *potentiel*, alors que l'épidémiologie tient compte du risque *effectif*. En effet, bien que des microorganismes pathogènes soient détectés dans les eaux usées ou sur les plantes, cela ne se traduira pas dans tous les cas par des problèmes sanitaires causant des maladies. Ceci signifie en clair qu'un risque potentiel ne deviendra pas automatiquement un risque effectif. Autrement dit, la réutilisation des eaux usées en agriculture, qui présente un risque potentiel pour la santé humaine, ne peut constituer un risque effectif que sous certaines conditions.

Ces conditions *sine qua non* pour qu'un risque potentiel devienne effectif, sont les suivantes (Shuval, 1977) :

- l'agent pathogène constitue une dose infectieuse;
- la dose infectieuse atteint l'hôte humain;
- l'hôte humain est infecté;
- l'infection provoque une maladie ou se transmet.

Si la dernière condition n'est pas remplie, le risque n'est que potentiel.

Certaines caractéristiques de l'agent pathogène et de l'hôte, permettent d'accroître le risque effectif lié à la réutilisation des eaux usées. Ces caractéristiques ont été justifiées par Shuval (1977) :

- une persistance prolongée dans le milieu;
  - une période de latence ou une phase de développement prolongée;
  - une faible dose infectieuse;
  - une faible immunité;
  - une transmission simultanée minime par d'autres voies : aliments, eau, manque d'hygiène.
- } Agent
- } Hôte

L'épidémiologie révèle donc, que le risque effectif, tient compte aussi bien de l'agent pathogène que de l'hôte. La présence de germes pathogènes dans les eaux usées, qui a toujours prévalu dans les normes de l'OMS, ne tenait pas compte de cette réalité.

En plus de leur caractère contraignant, les normes de l'OMS véhiculent une mauvaise perception et une appréhension des agriculteurs pour ces eaux en les considérant très dangereuses, et aussi, pour les consommateurs qui boudent les produits irrigués par les eaux usées. Alors que la réutilisation des eaux usées devrait être considérée comme approche intégrée et systémique. Elle fait intervenir plusieurs acteurs et plusieurs systèmes et donc plusieurs critères. Elle ne doit pas être vue sous le seul angle microbiologique ce qui a tendance à limiter son extension.

Les disponibilités en eaux usées augmentent, les besoins pour l'irrigation aussi, mais la réutilisation d'une manière planifiée et durable tarde à s'implanter.

#### 2.2.4 Avantages de la réutilisation des eaux usées traitées

Dans les pays arides et semi-arides, la pratique de la réutilisation des eaux usées traitées devrait se développer davantage, les avantages liés à cette pratique sont les suivants :

- la réutilisation des eaux usées traitées peut compenser la rareté des ressources. Leur affectation à l'usage agricole permet de consacrer les eaux de meilleure qualité aux consommations domestiques;
- elle contribue à réduire les pollutions du milieu et de protéger l'environnement;
- les eaux usées traitées permettent, lorsqu'elles sont utilisées en irrigation, de réduire et même d'éliminer le recours aux engrais chimiques;

#### 2.2.5 Inconvénients de la réutilisation

Les inconvénients sont principalement liés à l'adaptation aux usages et aux obstacles psychologiques et culturels attachés à des eaux supposées dangereuses. Les principaux inconvénients liés à la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture sont les suivants :

- le risque sanitaire lié à la présence de germes dans les eaux usées traitées aussi bien pour le travailleur que pour le consommateur;
- en raison de la salinité élevée de l'eau usée, il peut en résulter certains effets négatifs sur le sol et sur les plantes ce qui peut entraîner une chute de la production végétale et même une stérilité des sols par accumulation de sel;
- l'apport en quantité importante des doses d'azote et de phosphore peut nuire à la production agricole et contribue à la pollution des nappes;
- Le contrôle des eaux réutilisées doit être rigoureux et permanent. Il exige donc des moyens importants, techniques et humains, ce qui est souvent difficile à obtenir dans les pays arides et semi-arides. Le contrôle indispensable est rendu encore plus délicat à assurer correctement en raison de la multiplicité des intervenants au niveau de la collecte, du traitement et surtout au niveau des utilisateurs;
- les sites d'utilisation doivent se trouver à proximité des stations d'épuration, c'est-à-dire dans les zones périurbaines peuplées.

- la réticence des usagers à utiliser l'eau usée, soit pour des raisons culturelles, soit parce que les cultures proposées sont de faibles rentabilités économiques.
- les rejets urbains ont des débits continus et presque constants durant l'année, alors que l'utilisation agricole est saisonnière et la demande est différente selon les saisons et les périodes de productions. Que faire des surplus en période humide?

### 2.3 Objectif de la recherche

L'eau est une ressource essentielle pour les être humains, utilisée non seulement comme support vital, mais aussi dans toutes les sphères de ses activités. Elle s'insère ainsi dans une multitude de systèmes, à la fois physiques, mais aussi humains et sociétaux. Néanmoins, les prises de décision qui la concerne ne tiennent généralement compte que d'un nombre très réduit de dimensions. La question qui se pose alors est de savoir si une prise en charge plus globale, au moment de la prise de décision, est possible. Cette question spécifique s'inscrit dans une question plus large : cette prise en charge globale, dans une problématique aussi restreinte que la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation à des fins d'autosuffisance alimentaire, peut-elle être étendue à d'autres problématiques environnementales présentant le même type de caractéristiques ?

Ainsi, l'objectif de cette recherche consiste à élaborer une méthodologie d'aide à la décision qui, d'une part, intègre le nombre maximum de systèmes dans lesquels la problématique de la réutilisation des eaux usées s'inscrit et qui, d'autre part, permet de s'assurer que les projets concrets de réutilisation des eaux usées s'inscriront dans un cadre de développement durable.

Cette méthodologie doit pouvoir se généraliser à des problématiques environnementales différentes de la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation mais présentant des caractéristiques similaires.

Il convient de noter ici que ce travail est exploratoire. Il reste donc théorique et en particulier, il ne présente aucune validation sur le terrain.



## CHAPITRE III

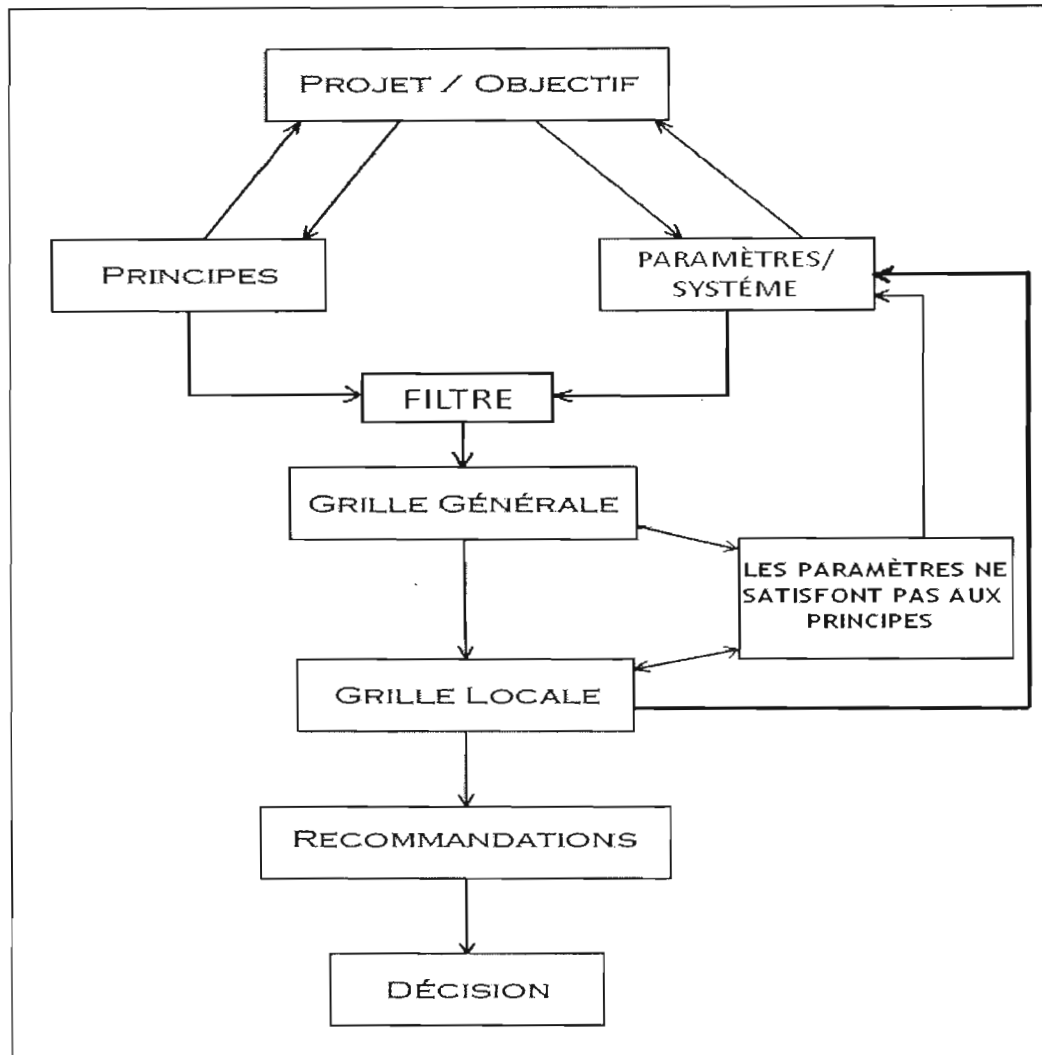
### MÉTHODOLOGIE

Dans ce projet de recherche, la notion de « méthodologie » représente deux réalités distinctes. La première, classique, est l'ensemble des moyens utilisés pour atteindre l'objectif. La deuxième est en fait le résultat global de la recherche.

Pour la première, très simple, l'essentiel de la façon de fonctionner a consisté en une série de tentatives, d'essais, d'erreurs, de réflexion, etc. Aucune méthodologie stricte ne peut être mise de l'avant dans ce genre de situation, contrairement à d'autres types de recherche, expérimentale par exemple.

Pour la deuxième méthodologie, même si elle constitue en fait le résultat final majeur de cette recherche, il est préférable de la présenter globalement à ce niveau du texte. Elle est illustrée à la Figure 1 qui en donne les grandes étapes :

1. Identification du projet ou de l'objectif;
2. Choix des systèmes ou des paramètres;
3. Choix d'un ensemble cohérent de principes du développement durable;
4. Établissement d'un filtre
5. Établissement d'une grille générale, en réponse à la question posée;
6. Identification des couples {principe-paramètre} nécessitant une adaptation locale et un traitement particulier;
7. Grille locale;
8. Recommandation quant à la faisabilité du projet;
9. Décision.



**Figure 1 - Processus de décision**

Ainsi, comme le montre la figure 1, le cheminement n'est pas linéaire : de nombreux retours en arrière se produisent. Ces itérations sont nécessaires afin de constamment s'assurer que les étapes ultérieures n'ont pas perturbé la pertinence des résultats des étapes antérieures et que le système se construit d'une façon cohérente.

Dans le cadre de ce mémoire, tous les essais ne seront pas présentés et inventoriés. Seuls quelques-uns le seront, généralement comme illustration de la méthodologie finale retenue et

dans une optique d'élargissement de la méthodologie à des problématiques autres que la réutilisation des eaux usées à des fins d'irrigation.

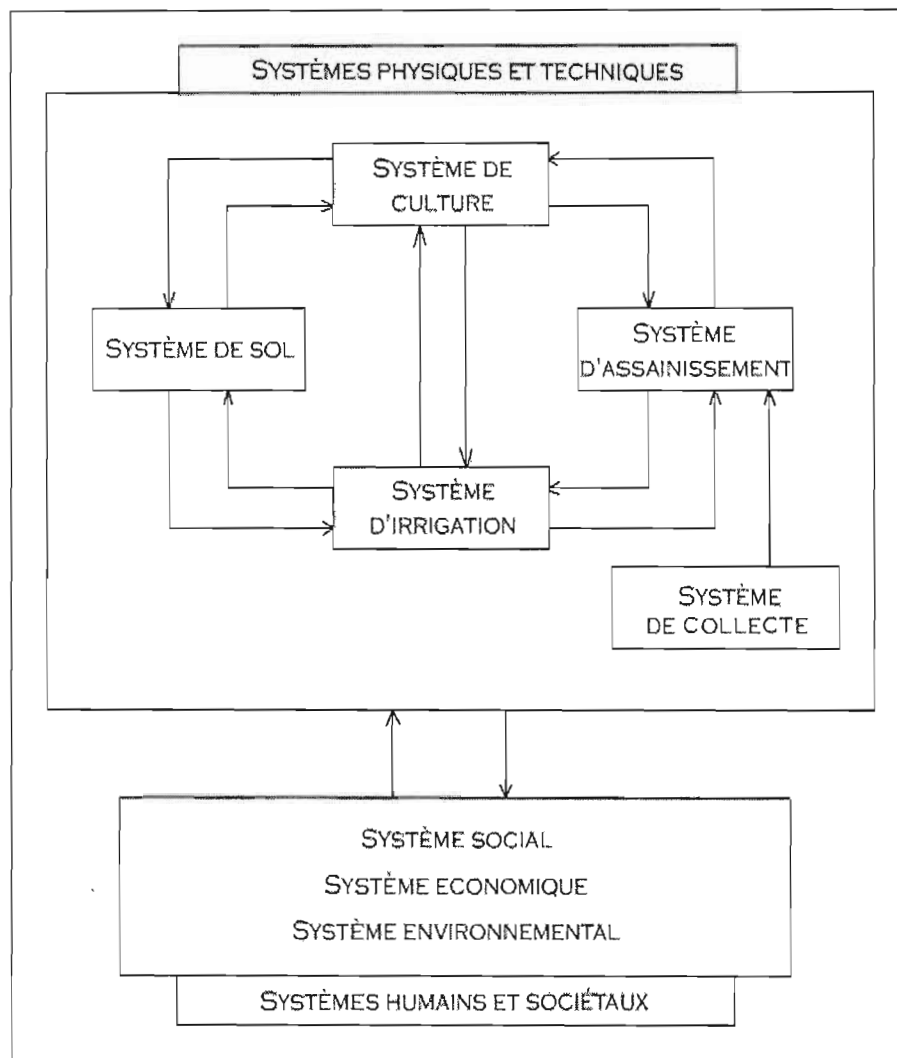
Quelques éléments de cette méthodologie ont été fixés *a priori*. Ainsi, afin de s'assurer d'un ensemble cohérent de principes, La déclaration de Rio et les 27 principes qui l'accompagnent ont servi de base. La forme prise par le filtre est en fait la formulation d'une question permettant de relier entre eux les paramètres et les principes. La notion de « compatibilité » sera discutée dans le corps du texte. La grille n'est que la représentation condensée de l'ensemble des réponses à cette question.

Cette explication sommaire de la méthodologie-résultat sera explicitée tout au long du mémoire.

### **3.1 Inventaires des systèmes**

La réutilisation des eaux usées en irrigation fait intervenir plusieurs systèmes qui seront représentés par des paramètres.

La figure 2 permet de mettre en évidence les différents systèmes concernés par la réutilisation des eaux usées en irrigation.



**Figure 2 - Systèmes d'irrigation**

L'importance et le pourquoi de chaque système sont expliqués d'une manière succincte pour montrer leur importance dans le projet d'irrigation par les eaux usées.

Le tableau suivant explique pour chaque système, les paramètres qui seront prise en compte dans la présente étude.

**Tableau 2**  
Systèmes et paramètres d'irrigation

Systèmes physiques et techniques	Collecte	Présence d'un réseau de collecte des eaux usées.
	Assainissement	L'existence/projection d'un système d'assainissement, sa maintenance et ses opérations.
	Sol	Disponibilité de terrain pour l'agriculture.
	Irrigation	Aspects techniques des systèmes d'irrigation.
	Culture	Aspects agronomiques des cultures.
Systèmes humains et sociaux	Économique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Commercialisation : Possibilité individuelle d'écoulement des productions dans le marché.</li> <li>• Législation : possibilité/Facilité de légiférer.</li> </ul>
	Environnemental	l'environnement en tant que pression et contrainte.
	Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Santé humaine : prise en compte des risques d'infection et contamination lors de la conception;</li> <li>• Stabilité de la population;</li> <li>• Acceptabilité sociale : adhésion des communautés.</li> <li>• Aspect socioculturel : tenir compte de la culture locale.</li> <li>• Participation des agriculteurs : possibilité de les intégrer au processus décisionnel.</li> </ul>

### 3.1.1 Système de collecte

Pour qu'il y ait réutilisation des eaux usées, il faut que cette eau soit à la disposition de l'agriculteur, ceci explique la nécessité de disposer d'un réseau pour collecter ces eaux usées. Le paramètre est pris dans le sens strict de système de collecte des eaux usées et d'égout.

Le réseau de collecte est un préalable à tout projet de réutilisation des eaux usées et doit être intégré dans tout projet de planification et de politique de gestion de l'eau. Toute politique qui vise la réutilisation des eaux usées doit d'abord pouvoir s'appuyer sur un réseau de collecte.

### 3.1.2 Système d'assainissement

L'épuration des eaux usées est souvent réalisée pour protéger la santé humaine et le milieu récepteur ( Annexes C et D). Pour la santé humaine, le processus d'épuration permet sinon d'éliminer les microorganismes pathogènes, du moins de les réduire au minimum; pour le milieu naturel, le processus permet habituellement de réduire les matières en suspension (MES), la matière organique biodégradable (DBO), le phosphore, l'azote et les métaux lourds. Dans les pays en voie développement, les stations d'épuration font souvent défaut et celles existantes ont été conçues selon des concepts des pays du Nord qui ne correspondent pas à leur situation technique, financière et humaine. Ceci explique pourquoi la majorité de ces stations, si elles existent, sont hors usage par manque d'entretien, de main d'œuvre qualifiée ou de pièces de rechange. Ce constat pénalise la réutilisation, puisque ces eaux sont considérées comme dangereuses. Il existe des procédés d'épuration simples et moins coûteux, adaptés à la situation de chaque pays, permettant de répondre à leurs besoins sanitaires, environnementaux et économiques. Le lagunage est un exemple de procédé ne nécessitant ni technologie compliquée, ni énergie, ni de gros capitaux et de main d'œuvre qualifiée. Ces bassins peuvent aussi jouer le rôle de stockage des eaux durant les périodes humides où il n'y a pas d'irrigation pour les utiliser durant les périodes sèches, les eaux usées étant continues alors que l'irrigation est saisonnière. L'épuration des eaux usées est donc une condition nécessaire pour la réussite de leur réutilisation et leur intégration dans les projets de planification et de gestion des eaux.

### 3.1.3 Système de sol

Pour pouvoir réutiliser les eaux usées assainies, il faut disposer de terres agricoles. Les qualités géologiques, pour éviter la pollution des nappes, et pédologiques pour la mise en place des cultures, sont des éléments déterminants pour la mise en place de tout projet d'irrigation particulièrement pour les eaux usées (Valiron et *al* 1983). En effet les eaux usées sont différentes des eaux conventionnelles par leur teneur en matières en suspension et en sels. Les matières en suspension influencent le colmatage des sols, elles peuvent obstruer les

pores et provoquer une imperméabilisation rendant le sol inutilisable (Ayres et Wescot, 1985). La cinétique de ce phénomène dépend aussi bien de la teneur en matières en suspension que des caractéristiques du sol telles que ( Annexes E et F ) :

- Texture : elle caractérise la composition des sols et est décrite par la granulométrie qui permet de les classer en fonction de la taille des particules.
- Porosité : c'est le volume laissé disponible par les constituants solides du sol. Suivant la taille des pores, on peut parler de macro ou de microporosité.
- Perméabilité : c'est la propriété d'un sol à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient de potentiel. Elle se mesure par le coefficient de perméabilité (K) qui est défini comme étant la hauteur d'eau écoulée pendant l'unité de temps lorsque le milieu est saturé d'eau dans un régime permanent. Elle se mesure en m/s.

La structure du sol est maintenue entre autres par les ions calcium et magnésium qui y sont rencontrés naturellement. Lorsque ces sols sont irrigués par des eaux riches en sodium échangeable, elles provoquent la dispersion et une destruction du sol entraînant le colmatage. Ceci cause des problèmes d'infiltration et le manque d'aération avec des conséquences sur les rendements.

L'étude du sol est un élément important à prendre en compte lors de l'établissement des projets d'irrigation par des eaux usées dans une perspective de développement durable. Un projet de réutilisation des eaux usées causant la stérilité du sol peut avoir des conséquences catastrophiques pour la population et pour le milieu.

Sans sol, on ne peut développer la réutilisation des eaux usées en agriculture même si l'eau est disponible signifiant l'importance de ce paramètre dans ce type de projet.

#### 3.1.4 Système d'irrigation

C'est le système d'irrigation qui permet d'amener l'eau de l'endroit de sa production (station d'épuration) à l'endroit de son utilisation (systèmes sol/plantes). L'irrigation est le moyen de valoriser les eaux usées traitées en les appliquant sur des cultures pour augmenter les

rendements et améliorer la situation économique et sociale des populations locales. L'eau peut être appliquée au sol de différentes façons :

- **Gravitaire** : il s'agit d'appliquer une couche d'eau sur la surface du sol. C'est le cas de la submersion et à la raie (RNEDHA, 1992). C'est la méthode la plus répandue et qui ne nécessite pas une technicité du pratiquant. Cependant cette technique n'est pas la plus efficiente. La hauteur d'eau appliquée pénétrant dans le sol est fonction de l'emplacement du terrain, de la pente, des changements de texture dans le terrain, de la compacité et de la chimie du sol. L'extrémité du terrain la plus proche de la source reçoit plus d'eau que la partie aval de même que les points hauts reçoivent moins d'eau en raison de leur situation. Les doses appliquées ne sont généralement pas maniables ce qui entraîne souvent des gaspillages d'eau et des engorgements du sol. Dans le cas présent l'agriculteur est en contact direct avec les eaux usées ce qui nécessite des précautions pour la santé humaine. Il faut également éviter le contact direct des eaux usées avec les produits qui seront consommés crus.
- **Aspersion** : l'eau est appliquée d'une manière identique à la pluie. Un réseau d'aspersion bien conçu permet une distribution uniforme de l'eau et une vitesse d'application ne favorisant pas le ruissellement. Elle s'adapte aux contraintes topographiques et permet un contrôle de la dose d'irrigation par le réglage de la durée de l'application, la distance entre les asperseurs et le diamètre de canalisations (RNEDHA, 1992). Cependant, l'uniformité d'application d'eau par cette technique peut être modifiée en présence de vent. La présence de sel dans les eaux usées traitées peut s'accumuler au niveau des feuilles et provoquer des brûlures et parfois même une défoliation. Dans les régions chaudes, l'aspersion amplifie l'évaporation ce qui augmente davantage la concentration des sels dans le sol et donc leur toxicité. L'aspersion dans le cas des eaux usées peut éventuellement propager les germes pathogènes aux alentours des zones irriguées et donc augmenter la probabilité d'infection. Si l'agriculteur n'est pas en contact direct avec les eaux usées, il faut éviter les cultures qui seront consommées crues.



- Goutte à goutte : appelée également irrigation localisée, elle permet une distribution de l'eau presque à la demande de la plante. Le sol est maintenu aux alentours de sa capacité de rétention par une application journalière et une vitesse très faible des goutteurs (RNEDHA, 1992). Contrairement aux méthodes précédentes, le goutte à goutte permet de contrôler la salinité au niveau du sol en dehors des zones racinaires par le maintien d'un courant d'eau descendant. L'efficacité de l'irrigation est voisine de 100 pour cent, il n'y a ni évaporation ni percolation d'eau en profondeur. Malgré ses avantages, cette technique reste très sensible au colmatage des orifices surtout dans le cas des eaux usées traitées chargées ce qui nécessite en plus d'un système de filtration, une formation technique des utilisateurs et des moyens financiers pour la mettre en place.

L'irrigation est un élément important dans la réussite de réutilisation des eaux usées traitées en agriculture. Elle également doit tenir compte, dans des pays où les maladies sont transmises par des vecteurs (moustiques), de ne pas créer les conditions favorables au développement des habitats à ces vecteurs. Même en absence de maladies associées, des espèces nuisibles d'insectes peuvent gêner et perturber les activités professionnelles et de loisir et la vie courante en général.

La réussite de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture passe par le choix du système d'irrigation le plus approprié.

### 3.1.5 Système de culture

La finalité de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation est la production agricole, rendue difficile voire impossible par les conditions climatiques et l'absence d'eau. Cette production peut être soit pour l'autoconsommation des populations locales, soit commercialisée ce qui permet aux agriculteurs de se procurer des moyens financiers pour améliorer leur niveau de vie. Ainsi, le choix des cultures à mettre en place est une condition nécessaire à la réussite de la réutilisation des eaux usées traitées.

Le choix des cultures dans l'espace (assolement) et dans le temps (rotation) doit tenir compte des besoins de la population locale et des techniques d'amélioration du sol. Le système de

culture permet de choisir les cultures les mieux adaptées à la qualité de l'eau et aux spécificités régionales. Elle permet également de planifier les dates de semis et de récolte et le calendrier d'irrigation.

Le système de culture doit capitaliser sur le savoir-faire local et éviter d'implanter des cultures étrangères à la localité ou à la région même si elles sont économiquement rentables.

### 3.1.6 Système économique

#### 3.1.6.1 Commercialisation

Les productions qui résultent de la réutilisation des eaux usées traitées doivent répondre aux besoins des consommateurs aussi bien locaux que dans la région. Tous les excédents des besoins d'autosuffisance doivent être écoulés dans le même circuit de commercialisation que les productions irriguées par des eaux conventionnelles. Les produits ne doivent pas être dévalorisés et doivent être vendus au même prix que les autres productions. Le contraire peut compromettre le projet de la réutilisation des eaux usées traitées. Pour une réussite, tout projet de réutilisation des eaux usées traitées en irrigation doit intégrer l'aspect commercialisation et identifier les contraintes à l'écoulement des productions sur le marché.

#### 3.1.6.2 Législation

Généralement, les lois élaborées pour la réutilisation des eaux usées traitées, si elles existent, sont inspirées des lois des pays développés et des normes de l'OMS. Celles-ci sont orientées dans le sens d'une restriction de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. Ces lois rendent l'utilisateur et le consommateur méfiant vis à vis de cette eau réputée dangereuse en plus de son caractère inesthétique (ex : aspect trouble, odeur, etc.)

Le statut foncier peut rendre difficile une mise en valeur des terres par les eaux usées traitées. Les terrains sont souvent morcelés, la majorité des propriétés sont très petites et ne permettant pas la mise en place d'un projet d'irrigation viable. Cette situation nécessite un remembrement qui souvent n'est pas bien compris par les agriculteurs et peut être source de conflits.

Le développement de la réutilisation des eaux usées traitées devrait ainsi passer par une législation qui favorise les aspects suivants (Mara et Cairncross, 1991):

- création de nouvelles institutions qui s'occupent de la réutilisation des eaux usées traitées ou attribution de nouveaux pouvoirs à des organismes existants;
- définition du rôle et de la relation de l'administration locale et nationale dans le secteur de la réutilisation;
- définition des droits d'accès aux eaux usées traitées et leur propriété, notamment la réglementation publique de leur utilisation;
- mise en place de solutions au problème du régime foncier;
- législation en matière d'agriculture et de santé publique.

Une législation adaptée aux conditions locales et intégrant la gestion des ressources en eau peut favoriser grandement la réutilisation des eaux usées traitées.

### 3.1.7 Système environnemental

Dans les pays en voie de développement, l'environnement ne constitue pas une préoccupation première. Les rejets des eaux usées se font sans se soucier du milieu récepteur ni des dommages qui peuvent lui être infligés. Les bailleurs de fond comme la Banque Mondiale, la société civile émergente et la médiatisation des problèmes environnementaux exercent cependant des pressions sur les décideurs pour qu'ils tiennent compte de l'environnement dans tout projet de développement. La prise en compte de l'environnement favorise et contribue au développement de projets de réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. C'est une contrainte importante dont il faut tenir compte dans la mise en place de projets d'irrigation par les eaux usées traitées. L'environnement signifie en même temps pression et contrainte.

### 3.1.8 Système social

#### 3.1.8.1 Santé humaine

La santé humaine est la contrainte majeure dont il faut tenir compte dans tous les projets de réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. Il serait contradictoire de produire des

aliments à une population tout en l'exposant à des risques d'être infectée par les agents pathogènes. Cependant, il est aussi contradictoire de vouloir protéger la santé humaine vis-à-vis des pathogènes sans se soucier du manque de nourriture qui peut aussi compromettre la santé de la population. Il y a un compromis à faire dans la recherche du bien être de la population. C'est la santé humaine qui est à la base des normes de l'OMS.

Tout projet de réutilisation des eaux usées traitées doit tenir compte de la santé humaine, aussi bien celle des travailleurs impliqués directement dans l'irrigation ou de leur famille, que celle des consommateurs et des voisins des terres nouvellement irriguées.

#### 3.1.8.2 Stabilité de la population

Les projets d'irrigation s'accompagnent d'une amélioration du niveau de vie des agriculteurs et contribuent à leur sédentarisation. L'irrigation crée de l'emploi essentiellement familial. Ce changement dans le système de production stabilise la population et diminue l'exode rural vers les villes. Cet exode a toujours été à l'origine de création des zones de pauvreté aux alentours des grands centres urbains.

En améliorant les conditions de vie des agriculteurs par la production et la création d'emplois, la réutilisation des eaux usées traitées permet un développement régional durable.

La stabilité de la population est à considérer dans tout projet d'irrigation par les eaux usées.

#### 3.1.8.3 Acceptabilité sociale

L'image négative de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation, de par son aspect inesthétique (couleur, odeur, etc.) et sa réputation d'être dangereuse, peut entraîner des rejets au niveau des agriculteurs, des consommateurs et des populations avoisinantes. Les promoteurs de projets d'irrigation par les eaux usées traitées doivent tenir compte de ces facteurs limitant dans le but de changer cette perception. L'acceptabilité sociale est un aspect important à considérer afin de favoriser la réussite du projet et assurer sa pérennité.

#### 3.1.8.4 Aspect socioculturel

Les contextes socioculturels varient énormément d'une région à l'autre et l'expérience d'une région ne peut être transposée dans une autre. Dans de nombreux milieux socioculturels, la réutilisation des eaux usées traitées soulève des questions : cette nouvelle source d'eau est-elle culturellement admise? La réponse n'est pas toujours facile à trouver. Les cultures sont rarement homogènes et contiennent souvent des sous-cultures aux orientations divergentes. En outre, les cultures évoluent : les valeurs, les croyances et les coutumes changent et peuvent être amenées à changer (Faruqui *et al*, 2003). La connaissance approfondie des conditions de chaque région permet de mieux cerner entre autres les valeurs culturelles et les comportements humains qui jouent un rôle essentiel dans la transmission des maladies associées à la réutilisation des eaux usées traitées.

L'aspect socioculturel doit être pris en compte dans tout projet de réutilisation des eaux usées.

#### 3.1.8.5 Participation des agriculteurs

Les populations locales ont toujours un rôle à jouer dans les projets de développement qu'ils soient environnementaux, économiques ou sociaux, compte tenu de leur savoir-faire et de leurs expériences ancestrales.

Il faut profiter de ces acquis et faire participer les gens directement concernés par les retombées du projet ou par ses conséquences. Une équipe de vulgarisateur et de formateur issue de la population doit être mise en place afin d'informer les gens et de les faire adhérer au projet de réutilisation des eaux usées traitées.

Lors des projets d'irrigation, il faut développer des mécanismes permettant la participation des agriculteurs aux choix et aux décisions pour assurer la réussite des projets. L'absence de participation ou une participation insuffisante des parties prenantes est un des principaux défis dans la gestion de l'eau pour l'agriculture. Une bonne participation des intéressés donne une variété de points de vue et aide à gagner le soutien du public, et le soutien financier et politique qui sont nécessaires pour appuyer les projets et surmonter les difficultés. Pour une

meilleure efficacité, la gestion de l'irrigation peut être confiée aux agriculteurs y compris les problèmes communautaires et les recouvrements des coûts le cas échéant. Considérer les agriculteurs comme des exécutants de plans élaborés ailleurs ne garantit ni la réussite, ni la durabilité de projets.

La participation des agriculteurs aux choix et aux décisions lors de l'élaboration de projets d'irrigation peut constituer un gage de réussite.

### 3.1.9 Synthèse

En conclusion, cette liste de synthèse n'est certainement pas exhaustive. D'autres systèmes, probablement aussi importants que ceux décrits plus haut, pourraient être ajoutés. De même, certains pourraient être éliminés. Une certaine subjectivité demeure nécessairement.

L'inventaire des systèmes mis en jeu constitue une étape importante dans le cadre de la méthodologie qui sera suivie.

## 3.2 Les principes du développement durable

### 3.2.1 Historique

Avant d'aborder le développement durable et les principes, cette section présente un petit détour historique en mentionnant sommairement quelques dates\* importantes dans la prise de conscience des problèmes environnementaux :

- 1962 : États-unis - Rachel Carson publie *Silent spring* « Printemps silencieux ». Par son retentissement, ce livre contribue à l'interdiction du DDT aux États-Unis, et popularise le terme écologie.
- 1968 : création du Club de Rome qui regroupe une poignée d'hommes et de femmes, occupant des postes relativement importants dans leurs pays respectifs et qui

---

\* Pour plus de détail sur l'historique des préoccupations environnementales dans la société voir Rigny 2004.

souhaitent que la recherche s'empare du problème de l'évolution du monde pris dans sa globalité pour tenter de cerner les limites de la croissance.

- 1972 : le Club de Rome publie le rapport *Halte à la croissance*, rédigé à sa demande par une équipe de chercheurs du Massachusetts Institute of Technology. Ce rapport donne les résultats de simulations informatiques sur l'évolution de la population humaine en fonction de l'exploitation des ressources naturelles, avec des projections jusqu'en 2100. Il en ressort que la poursuite de la croissance économique entraînera au cours du XXI<sup>e</sup> siècle une chute brutale des populations à cause de la pollution, de l'appauvrissement des sols cultivables et de la raréfaction des ressources énergétiques.
- 1972 : la conférence des Nations unies sur l'environnement humain à Stockholm expose notamment l'écodéveloppement, les interactions entre écologie et économie, le développement du sud et du nord.
- 1972 : création du Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
- 1987 : la définition du développement durable est proposée par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement.
- 1992 : le Sommet de Rio consacre le terme et le concept passe dans le grand public. Adoption de la convention de Rio et de l'Agenda 21.
- 2002 : le Sommet de Johannesburg (Rio + 10) où plus de cent chefs d'États, plusieurs dizaines de milliers de représentants gouvernementaux et d'ONG ratifient un traité prenant position sur la conservation des ressources naturelles et de la biodiversité.
- 2005: entrée en vigueur du Protocole de Kyoto.

Les catastrophes industrielles de ces trente dernières années (Tchernobyl, Bhopal, la marée noire de l'Exxon Valdez, etc.) ont interpellé l'opinion publique et les associations telles que Greenpeace et ont permis une prise de conscience des problèmes environnementaux.

### 3.2.2 Le développement durable

La définition classique du développement durable provient du rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (Brundtland, 1989) : « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

La définition rappelle le propos prêté à Antoine de Saint-Exupéry : « Nous n'héritons pas de la Terre de nos ancêtres, nous l'empruntons à nos enfants ».

Le rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement insiste sur la nécessité de protéger la diversité des gènes, des espèces et de l'ensemble des écosystèmes naturels terrestres et aquatiques, et ce, notamment, par des mesures de protection de la qualité de l'environnement, par la restauration, l'aménagement et le maintien des habitats essentiels aux espèces ainsi que par une gestion durable de l'utilisation des populations animales et végétales exploitées.

En dépit des bonnes intentions contenues dans la définition du développement durable, il n'est pas précisé comment on peut satisfaire aux besoins essentiels des communautés humaines, présentes et futures, en rapport avec les contraintes démographiques notamment en ce qui concerne :

- l'accès à l'eau;
- la lutte contre la malnutrition;
- l'accès à l'éducation;
- l'accès à la santé;
- l'accès pour tous à l'emploi;
- l'accès à un logement de qualité;

Si le concept et les objectifs sont clairement posés, le développement durable semble plus difficile à mettre en œuvre. Cette difficulté résulte entre autres de ce qui suit:



- Comment définir les besoins des générations futures?
- Une croissance économique forte est-elle compatible avec les besoins de la population actuelle et avec la population de demain?
- Peut-on se contenter de mieux gérer les ressources non renouvelables, sans changer le mode de consommation et donc de mode de vie surtout dans les pays dits développés?
- L'objectif du maintien de la valeur du capital naturel est-il possible alors qu'il y a :
  - utilisation abusive de pétrole (surtout la voiture),
  - gaspillage de l'eau (notamment dans l'agriculture),
  - gaspillage de l'électricité,
  - production de déchets (emballages) ou surproduction d'objets de consommation à durée de vie courte.

### 3.2.3 Les principes du développement durable

La déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, adoptée en juin 1992 par les représentants des 180 pays participant au Sommet de la Terre, reconnaît 27 principes (Annexe G). Ces principes servent à guider les actions, les politiques, les lois et les règlements permettant d'atteindre les trois objectifs fondamentaux du développement durable, c'est-à-dire maintenir l'intégrité de l'environnement et des écosystèmes, améliorer l'équité sociale et améliorer l'efficacité économique dans une perspective de responsabilité écologique et sociale. Ce sont donc des principes directeurs de l'action des pouvoirs publics dans le domaine de l'environnement, encore faut-il que ces pouvoirs publics adoptent le concept de développement durable.

L'environnement est marqué par la formulation de nombreux principes en raison de leur nature peu contraignante. S'il est difficile de s'accorder au niveau international sur des règles fixes et précises, il est en revanche beaucoup plus aisé de s'entendre sur l'énoncé de grands principes peu contraignants qui pourront être concrétisés progressivement (de Sadeleer, 1999).

Dans le cadre du présent travail, le choix a été porté uniquement sur six principes. Cinq parmi les 27 principes et un sixième qui ne fait pas partie des 27 mais est important pour d'étude. Ce choix est dû principalement au fait que :

- Les six principes sont les plus pertinents pour un projet d'irrigation pour les eaux usées.
- La méthodologie appliquée pour les six principes permet la possibilité d'extension à d'autres principes et à d'autres domaines.
- La méthodologie n'est pas définitive, elle est exploratoire.

Ces principes retenus sont :

- pollueur-payeur;
- utilisateur payeur;
- prévention;
- précaution;
- subsidiarité;
- les 4RVE ; ce principe même ne faisant pas partie des 27 principes de Rio, à été retenu compte tenu de son importance en matière systémique et environnementale et compte tenu de sa justification dans le cas de la réutilisation des eaux usées traitées. Ce cas montre bien la possibilité d'intégrer d'autres principes que ceux de Rio qui seront justifiés par le projet étudié.

Les sections qui suivent présentent un aperçu des principes ainsi que leur énoncé selon la déclaration de Rio.

### 3.2.3.1 Le principe pollueur payeur

Le principe pollueur-payeur a été adopté par l'OCDE en 1972 (de Sadeleer 1999), en tant que principe économique visant l'imputation des coûts associés à la lutte contre la pollution. Ce principe est un des principes essentiels qui fondent les politiques environnementales dans les pays développés. Il pallie entre (de Sadeleer 1999) :

- l'efficacité économique : les prix doivent refléter la réalité économique des coûts de pollution, de telle sorte que les mécanismes du marché favorisent les activités ne portant pas atteinte à l'environnement;
- l'incitation à minimiser la pollution produite;
- l'équité : à défaut, les coûts incombent au contribuable qui n'est pas responsable de ces atteintes.

Il vise à limiter les nuisances sur l'environnement dues à l'activité économique et à l'activité privée. Selon ce principe, celui qui pollue doit participer aux dépenses occasionnées par les mesures de prévention, de réduction des pollutions ou de lutte contre la pollution qu'il a causée.

Les pouvoirs publics veillent à l'application de ce principe par le biais de réglementations spéciales ou par des incitatifs fiscaux. Lors de la conférence de Rio sur l'environnement et le développement, ce principe a été énoncé comme suit (principe 16) : *« les autorités nationales doivent s'efforcer de promouvoir l'internalisation des coûts de protection de l'environnement et l'utilisation d'instruments économiques compte tenu de l'idée que c'est le pollueur qui doit, en principe, assumer le coût de la pollution, en ayant en vue l'intérêt du public et sans fausser le jeu du commerce international et de l'investissement ».*

Le principe pollueur payeur constitue donc un modèle curatif qui a d'abord présidé aux débuts de la politique de l'environnement. Ce modèle se base sur l'idée que les dommages causés à la nature ne parviennent plus à être réparés seuls. Le principe s'adresse aux pouvoirs publics, l'état doit alors agir et se trouve tenu de remédier aux effets néfastes de la pollution (décontaminer, assainir, remettre en état ou réintroduire les espèces disparues). Si cela s'avère impossible sur un plan technique, il faut alors compenser les destructions commises. Selon ce principe, tout est considéré comme indemnisable, remplaçable, dédommageable, compensable (de Sadeleer, 1999). La mise en jeu du principe pollueur-payeur permet de faire payer par l'auteur de la pollution le coût des dommages qui en résultent ce qui permet d'éviter que la collectivité ne supporte le coût du passif environnemental.

Ce principe s'applique parfaitement au cas de réutilisation des eaux usées traitées. En effet, pour profiter pleinement de cette eau, il ne faut pas que son coût d'exploitation,

particulièrement le traitement, soit excessif pour la collectivité. La rentabilité économique du projet se trouvant compromise, l'eau doit donc être la moins polluée possible. Pour arriver à cette fin, et éviter des traitements coûteux, il faut que les pollueurs soient persuadés par des mesures coercitives d'ordre financier. Les pollueurs subiront les conséquences de leur pollution et la communauté ne se retrouvera pas pénalisée par ces pollutions qui risquent de remettre en cause le projet en entier.

De fait que ce principe soit dissuasif, il rencontre quelques limites (de Sadeleer, 1999) :

- le principe pollueur payeur est une réponse *a posteriori* à un problème puisqu'il revient pratiquement à dire : « on pollue, puis on dépollue ». Les taxes payées par le pollueur s'apparentent plus à l'achat d'un droit de polluer;
- ce principe est peu contraignant pour les activités productives dont la pollution est tolérée tant qu'elles ne causent pas un dommage « anormal ! ». Autrement, le responsable ne compense les victimes que lorsque le mal s'est produit et qu'il est revêtu d'un caractère excessif;
- la définition de la pollution aussi complique l'application de ce principe. En effet, pour que l'on puisse parler de pollution, la substance rejetée dans l'environnement doit dépasser les normes de rejet ou de qualité des milieux récepteurs fixées par les pouvoirs publics. Le concept de pollution est ainsi tributaire de la transgression d'une norme (de Sadeleer, 1999). Tant que les seuils établis par les autorités sont respectés, l'émetteur échappe à l'application du principe pollueur-payeur. Suivant ce raisonnement, les atteintes à l'environnement autorisées par les pouvoirs publics ne donnent pas lieu à une compensation financière.

### 3.2.3.2 Le principe utilisateur payeur

Le développement industriel et le progrès technologique ont permis l'essor sans précédent d'un système économique basé sur la croissance essentiellement quantitative. Cette croissance s'est accompagnée d'une accélération de la dégradation des écosystèmes et l'épuisement des ressources naturelles, particulièrement les non renouvelables. Le cycle de la

croissance dépasse celui de la régénération de la nature et celle-ci est devenue incapable de satisfaire l'ensemble de ses besoins tout en supportant une croissance fulgurante.

Ce principe constitue donc un appui à la nature, par une approche fiscale basée sur le développement durable et qui consiste à faire payer l'utilisateur de la ressource pour rompre le cercle vicieux gratuité-gaspillage. L'approche des problèmes environnementaux et des ressources naturelles, basée sur la fiscalité et les prix, permet tout à la fois de réduire les incitations à la surexploitation et à la pollution excessive de l'environnement. L'utilisateur doit payer l'ensemble des coûts économiques liés à l'utilisation de la ressource. L'utilisateur payeur n'est qu'une réponse *a posteriori* à un problème puisqu'il revient pratiquement à dire : « on surexploite, puis on paye ». Les taxes perçues chez l'utilisateur s'apparentent plus à l'achat d'un droit de consommer.

Ce principe s'applique parfaitement dans le cas d'irrigation. En effet, un projet de mise en valeur des terres agricoles par l'irrigation nécessite des investissements souvent lourds. La gratuité de l'eau peut entraîner du gaspillage et une faible rentabilité. Par contre, si l'eau est payée, l'agriculteur s'efforce de la rationaliser et de pratiquer une agriculture rentable lui permettant de payer ses charges et de dégager des bénéfices.

Comme le principe précédent, l'application de ce principe soulève quelques questions :

- comment peut-on alors inciter les gens à économiser une ressource, si elle est gratuite?
- l'application de ce principe à des secteurs vitaux comme l'eau potable peut porter atteinte aux ménages pauvres, d'où la tarification dans ce cas n'est pas justifiée.
- est-ce qu'on n'incite pas, surtout les grandes sociétés qui disposent des moyens, à surexploiter s'il s'agit seulement de compenser cette consommation? Par-là, on enrichit les multinationales aux dépens des biens souvent collectifs.

### 3.2.3.3 Principe de prévention

Le principe pollueur-payeur est considéré comme un modèle curatif et se limite à remédier à l'atteinte déjà portée à l'environnement. Nombre d'actions ont des conséquences irrémédiables sur l'environnement, par exemple : une forêt tropicale coupée à blanc est anéantie à jamais. Le retour à la situation antérieure est définitivement exclu pour plusieurs actions destructrices et la compensation financière ne peut être un remède. D'autre part, même si des compensations selon les principes pollueur-payeur/utilisateur-payeur peuvent toujours être envisagées, rien ne garantit non plus que les générations futures disposeront des moyens d'action suffisants pour effacer les cicatrices de la rançon du progrès (de Sadeleer, 1999). Ceci explique la portée de ce principe et ses limites et que seul, il ne peut résoudre les problèmes complexes de l'environnement et qu'il doit être jumelé par des normes préventives d'où le principe de prévention.

Dans le principe de prévention, les dommages écologiques ne devraient se produire que de manière accidentelle et s'ils surviennent, c'est parce qu'ils constituent la part perdue du progrès scientifique et technique. Dans ce cas, ils peuvent d'autant plus facilement être réparés qu'ils sont devenus exceptionnels (de Sadeleer, 1999).

Selon la déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, les énoncés concernant le principe de prévention sont (principe 11) :

*« Les États doivent promulguer des mesures législatives efficaces en matière d'environnement. Les normes écologiques et les objectifs et priorités pour la gestion de l'environnement devraient être adaptés à la situation en matière d'environnement et de développement à laquelle ils s'appliquent. Les normes appliquées par certains pays peuvent ne pas convenir à d'autres pays, en particulier à des pays en développement, et leur imposer un coût économique et social injustifié. ».*

La prévention s'appuie sur des certitudes scientifiques et techniques. La relation de cause à effet doit déjà être connue et on cherche à prévenir la répétition d'un risque qui s'est déjà produit auparavant et à prévenir le risque qui est certain. En se basant sur la certitude, le principe de prévention renforce le pouvoir des experts.

Ce principe vise à empêcher la création de pollution ou de nuisances plutôt que d'avoir à y remédier. Il permet d'instaurer des procédures obligatoires de sécurité et permet de tenir pleinement compte de la mise en œuvre des derniers progrès réalisés et des méthodes conçues afin de prévenir la pollution.

La réutilisation des eaux usées traitées en irrigation fait partie des domaines où l'application du principe de prévention trouve une justification. Les dommages que peut causer une eau usée traitée pour la santé humaine (travailleurs, consommateurs et le voisinage), ou pour le milieu naturel (sols, plantes) sont connus par les scientifiques et donc peuvent être évités. Lors de l'élaboration du projet toutes ces considérations de prévention doivent être prises en compte.

Malgré la connaissance technique et scientifique que requiert la mise en œuvre de ce principe, son application soulève quelques questions :

- comment induire l'incitation à la prévention?
- qui supporte les coûts de la prévention?
- comment concilier la prévention et la liberté d'entreprendre?

Le principe de prévention permet de diminuer les risques mais ne peut pas les supprimer.

#### 3.2.3.4 Principe de précaution

Les prémices modernes du principe de précaution viennent d'Allemagne, dans le courant des années 70 : *Vorsorgeprinzip* (principe de prévoyance) (Ewald et al., 2001). Afin d'inciter les entreprises à utiliser les meilleures techniques disponibles, sans mettre en péril l'activité économique, ce principe incite à prendre des mesures contre les pollutions avant d'avoir des certitudes scientifiques sur les dommages causés à l'environnement. C'est lors du sommet de Rio que ce principe a pris plus d'importance.

Conformément à la déclaration de Rio sur l'Environnement et le développement ce principe s'énonce comme suit (principe 15) : « *Pour protéger l'environnement, des mesures de précaution doivent être largement appliquées par les États selon leurs capacités. En cas de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas*

*servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement ».*

Ce principe privilégie donc une approche anticipative plutôt que curative et fait appel au jugement personnel et non à une règle préétablie. Il renforce également la prévention et intervient en amont lorsque l'état des connaissances scientifiques actuelles ne permet pas de prévoir et de connaître toutes les éventuelles incidences à long terme d'un produit ou service sur l'environnement et sur la santé humaine. La notion de risque certain caractérise la prévention, alors le nouveau paradigme se distingue par l'introduction de l'incertitude (de Sadeleer, 1999). Il s'agit d'anticiper les risques qui relèvent du possible, plausible, éventuel et probable. Le principe de précaution n'est pas seulement un principe de réduction de risque, c'est aussi un instrument de gestion des ressources naturelles. Ce principe s'applique aussi à la protection de la santé humaine, animale et végétale suite aux scandales par exemple du sang contaminé ou celui de la vache folle en Europe.

L'application de la précaution se caractérise par trois éléments fondamentaux : la nécessité de prendre une décision, l'existence d'un risque de préjudice grave ou irréversible, et l'absence de certitude scientifique absolue.

Le principe de précaution a commencé à s'imposer lorsque les dommages écologiques ont revêtu une dimension planétaire et que la menace est devenue globale : changements climatiques, disparition de la couche d'ozone, acidification des écosystèmes, anéantissement de la diversité biologique, surexploitation des ressources halieutiques, accroissement des risques technologiques, surpopulation, désertification, etc. Le principe de précaution, en tenant compte de ces dangers qui menacent l'humanité, incite les sociétés contemporaines à faire preuve de plus de responsabilité à l'égard des intérêts des générations futures (de Sadeleer, 1999).

Le principe de précaution peut être invoqué dans le cas de la réutilisation des eaux usées traitées, principalement dans le domaine de la santé humaine, des animaux et de l'écosystème. Des terrains seront mis en valeur par l'irrigation avec une eau souillée ; il y a alors un risque de développement de nouveaux parasites pour les animaux qui seront transmis à l'homme dans la chaîne trophique, de nouvelles plantes envahissantes pour ce milieu



vierge, des moustiques qui peuvent devenir des vecteurs de maladies etc. Toutes ces considérations et peut-être d'autres font du principe de précaution un principe de choix pour ce genre de projet afin d'éviter les risques.

Le principe de précaution soulève également des critiques :

- le principe de précaution a pour but de supprimer ou de réduire les risques qui sont considérés comme nouveaux dans la société. Il signifie que pour réaliser un projet ou créer une entreprise, l'entrepreneur a l'obligation de prouver que celle-ci n'a pas d'effets dommageables sur l'environnement. Autrement dit, le gouvernement peut interdire la création d'une entreprise sans qu'il ait à mettre en évidence les dommages qu'elle puisse causer. C'est au candidat entrepreneur, présumé « coupable », de prouver son innocence;
- le principe de précaution qui consiste à interdire des activités considérées comme suspectes, élimine des investissements qui auraient pu être faits en son absence. Un niveau d'investissement réduit implique moins d'innovation, moins de croissance économique et moins de revenus et de consommation;
- le principe de précaution est considéré comme un principe qui s'oppose au progrès scientifique;
- le principe de précaution vise les « autorités publiques », il appartient aux États de le mettre en œuvre. Les actions à entreprendre ne doivent pas être à n'importe quel prix, mais doivent être économiquement acceptables. Ceci signifie la prédominance de l'économie sur les décisions à prendre surtout si le coût de la précaution est très élevé.

### 3.2.3.5 Le principe de subsidiarité

Ce principe est énoncé dans la déclaration de Rio (principe 10) :

*« La meilleure façon de traiter les questions d'environnement est d'assurer la participation de tous les citoyens concernés, au niveau qu'il convient. Au niveau national, chaque*

*individu doit avoir dûment accès aux informations relatives à l'environnement que détiennent les autorités publiques, y compris aux informations relatives aux substances et activités dangereuses dans leurs collectivités et avoir la possibilité de participer aux processus de prise de décision. Les États doivent faciliter et encourager la sensibilisation et la participation du public en mettant les informations à la disposition de celui-ci. Un accès effectif à des actions judiciaires et administratives, notamment des réparations et des recours, doit être assuré ».*

La subsidiarité se pratique dans les régimes démocratiques qui valorisent l'autonomie non seulement de l'individu, mais aussi des groupes sociaux. Elle disparaît à l'inverse dans des organisations politiques dominées par le totalitarisme (Delsol, 1993).

Le principe de subsidiarité s'applique à définir, au-delà de la participation politique, ce que l'on peut appeler les libertés d'action, en précisant leurs limites et leurs conditions d'exercice. Il faut insister sur le fait que le principe de subsidiarité ne s'entend pas dans le seul domaine politique. S'il s'applique prioritairement aux relations entre l'État et les groupements issus de la société civile, c'est parce que l'État représente l'autorité et dans la plupart des régimes, la seule pouvant prendre les décisions. Mais l'idée subsidiaire concerne n'importe quelle autorité, même la plus simple. La subsidiarité peut donc s'appliquer dans tout groupement humain quelle que soit sa taille et sa nature, quoique différemment selon la nature du groupement. Son application requiert partout les mêmes conditions anthropologiques et philosophiques (Delsol, 1993):

- la confiance dans la capacité des acteurs sociaux et dans leur souci de l'intérêt général;
- l'intuition selon laquelle l'autorité n'est pas détentrice par nature de la compétence absolue quant à la qualification et quant à la réalisation de l'intérêt général;
- la volonté d'autonomie et d'initiative des acteurs sociaux, ce qui suppose que ceux-ci n'aient pas été préalablement brisés par le totalitarisme ou infantilisés par un État paternel.

L'application du principe de subsidiarité coïncide donc avec des traditions de liberté ou encore avec une volonté affichée de sortir d'une situation de sous-développement extrême de l'esprit d'initiative.

Ce principe consiste à ramener le traitement du problème le plus près possible au niveau où il se pose. Parmi ces buts :

- harmoniser les objectifs recherchés par des institutions ayant des compétences complémentaires;
- rapprocher la prise de décision des acteurs qui en subiront les conséquences dans un esprit d'une nouvelle gouvernance. Ce principe garantit aux acteurs locaux une participation active dans une perspective de développement durable. Les collectivités locales les plus proches des citoyens doivent jouer un rôle clé dans la mise en œuvre de ce principe.

Le principe de subsidiarité peut se définir comme une approche intégrée à la résolution de problèmes d'environnement. La résolution des problèmes fait intervenir plusieurs acteurs au niveau local, régional, national voire même international en plus des citoyens de divers horizons, c'est aussi une approche multidisciplinaire.

La participation insuffisante des parties prenantes est un des principaux défis dans la gestion des projets. Une bonne participation ou une participation représentative donne une variété de points de vue et aide à gagner le soutien du public, le soutien financier et politique qui sont nécessaires pour appuyer les projets et traiter les problèmes.

Dans le cas de réutilisation des eaux usées, le principe de subsidiarité doit être appliqué d'une manière parfaite. Les agriculteurs qui vont bénéficier du projet, doivent être partie prenante lors des prises de décisions. Il est difficile d'imposer aux agriculteurs un mode d'irrigation s'ils ne le maîtrisent pas. Cela pourrait être le cas du goutte à goutte ou de l'aspersion qui sont des méthodes très techniques. Imposer des cultures qu'ils ignorent ou qui ne font pas partie de leurs habitudes alimentaires correspondrait également à cette situation. La

participation des acteurs concernés par le projet peut garantir sa réussite, sa rentabilité et sa longévité.

#### 3.2.3.6 Le principe 4RV-E

Ce principe ne figure pas en tant que tel dans la déclaration de Rio, mais s'apparente à celui intitulé : consommation et production soutenables, qui s'énonce (principe 8) :

*« Afin de parvenir à un développement durable et à une meilleure qualité de vie pour tous les peuples, les États devraient réduire et éliminer les modes de production et de consommation non viables et promouvoir des politiques démographiques appropriées ».*

Ce principe s'inscrit dans une perspective de conservation des ressources et de développement durable. Il permet un développement économique permettant aux générations futures de bénéficier des mêmes possibilités que celles dont nous profitons aujourd'hui. Le principe des 4 RVE est celui qui intègre le plus la notion de système et est considéré comme parmi les plus importants au niveau du développement durable.

Voici un descriptif sommaire des composantes de principe :

#### 3.2.3.7 Les 4R

- Réduction

La première composante est de réduire la consommation de la matière première. Moins nous consommons, moins nous produisons de déchets. La réduction à la source concerne également la production de déchets. Cet objectif peut être atteint en intégrant l'impératif de réduction au niveau de l'étape de la conception du produit et en améliorant les procédés et en ne conservant que ce qui est utile s'il s'agit d'un produit industriel ou en modifiant nos habitudes de consommation s'il s'agit d'une ressource naturelle comme l'eau, la forêt ou le pétrole. Par exemple le goutte à goutte permet d'atteindre cet objectif.

- Récupération

Elle consiste à récupérer à la source les matières résiduelles permettant dans bien des cas de les acheminer vers des centres de recyclage plutôt que vers des lieux d'élimination. Exemple : le réseau de collecte.

- Réutilisation

La réutilisation, troisième composante du principe, appelée aussi réemploi, d'une matière ou d'un produit permet d'en prolonger son utilisation. Les déchets des uns peuvent parfois devenir les matières premières des autres. Exemple : la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation.

- Recyclage

Elle diffère de la précédente par le fait que le recyclage consiste à débarrasser le produit de ses impuretés et à le réintroduire dans le même cycle économique et prolonger en conséquence sa durée de vie. Le produit ayant subi des traitements se retrouve dans son cycle initial. Exemple : le traitement des eaux du fleuve pour les besoins d'eau potable.

### 3.2.3.8 Le V

- Valorisation

La valorisation consiste à utiliser une matière résiduelle comme intrant pour produire un produit vierge (nouveau). Il en résulte des plus values significatives pour les producteurs et la conservation de précieuses ressources naturelles. Cependant, il y a des critères stricts qui doivent être respectés.

### 3.2.3.9 Le E

- Élimination

Il arrive cependant qu'une matière résiduelle ne puisse satisfaire à aucune des stratégies précédentes et doive être éliminée ou disposée dans le plus strict respect des normes environnementales.

### 3.2.3.10 Synthèse

Le principe 4RV-E est un principe systémique, il s'intéresse aux systèmes de production, de gestion, de consommation, etc. C'est donc un principe qui s'inscrit d'une manière forte dans le développement durable.

La réutilisation des eaux usées étant une approche systémique, le principe des 4RV-E s'applique parfaitement à ce genre de projet. Chaque composante du 4RV-E trouve sa justification dans l'un des paramètres choisis de la réutilisation.

## 3.3 Formulation de question

Le lien entre les paramètres et les principes du développement durable se fait par un « filtre », qui peut être représenté par une question. Les réponses à cette question sont regroupées sous la forme d'une grille, les principes en colonnes et les paramètres en lignes.

La formulation de la question est donc une étape importante dans la démarche méthodologique. L'identification des systèmes et leurs paramètres et le choix des principes est une condition nécessaire mais non suffisante pour élaborer la grille. Le filtre que constitue la question, vise à rendre opérationnel chaque principe du développement durable au regard des paramètres du projet. Chaque case de la grille correspond à une question posée et à des réponses possibles.

On peut schématiser cette interaction de la façon suivante :

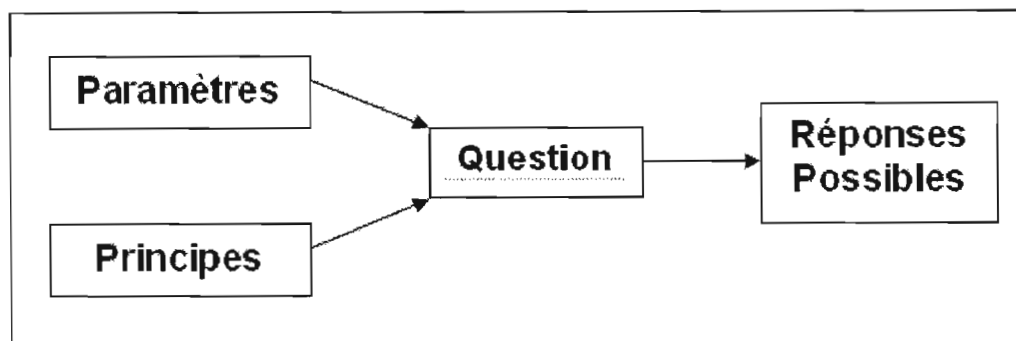


Figure 3 – Schéma du filtre

Avant d'examiner plus précisément l'élaboration de la question, il est important d'avoir une idée des réponses souhaitées. Ces réponses doivent être objectives, discriminantes, claires et uniques. La question à poser doit alors permettre d'atteindre ces objectifs.

La première formulation de la question a été, « le paramètre X est-il en accord avec le principe Y ? »

Les réponses possibles, idéales, étaient alors :

- Oui ;
- Non ;
- Sans Objet (S/O) : si la question n'a pas de logique.

La tentative d'établissement de la grille avec cette question a montré que la notion « d'accord » était ambiguë et soulevait d'autres questions et interprétations. La question a donc été modifiée par « le paramètre X respecte-t-il le principe Y ? ». Les difficultés d'utilisation de cette question se sont reproduites.

D'autres questions ont alors été formulées :

- Le paramètre X permet-il de faire du développement durable?
- Le paramètre X favorise-t-il le développement durable ?
- À quel point le paramètre X satisfait-il au principe du développement durable Y ?

- Le principe Y s'applique-t-il dans le cas du paramètre X?
- À quel point le principe Y influence-t-il le paramètre X ?

Aucune de ces questions n'était satisfaisante et les questions soulevées sont :

Que signifie « l'accord entre paramètre et principe » ? au lieu d'avoir une réponse pour remplir une case, on se retrouve face à une question. De la même manière pour la question suivante, que signifie « le paramètre respecte le principe » ? et ainsi de suite pour les autres questions. Cette difficulté à avoir des réponses claires et discriminantes, laissait croire que les principes sont très généraux et qu'il y a peut être lieu de les scinder en trois critères distincts :

- Pollueur-payeur : pollution, coût, règlement;
- Utilisateur-payeur : utilisation, coût, secteurs vitaux;
- Prévention : connaissance scientifique et technique, risque certain, procédures et normes;
- Précaution : risques potentiels, absence de certitude scientifique et technique, et incidence à long terme;
- Subsidiarité : démocratie, confiance aux acteurs, et autonomie;
- 4RVE : pour faire ressortir trois critères, le concept d'utilisation des ressources naturelles a été employé et les critères sont : gaspillage, économie, cycle de vie.

Cette façon de faire n'a pas permis d'avancer, mais a alourdi le travail sans apport particulier. Cette idée fut abandonnée et les principes ont été maintenus comme ils étaient auparavant.

La question finale formulée comme suit : « Le paramètre X permet-il de satisfaire les exigences et/ou les conséquences du principe Y du développement durable » est apparue discriminante, objective et singulière.

Mais l'application de cette question a montré qu'elle n'est pas simple et que les réponses ne se limitent pas à oui, non et sans objet (s/o). Il a été nécessaire de nuancer les réponses et d'ajouter une nouvelle réponse possible qui est : Oui/mais



Pour chaque paramètre, et à travers ce filtre qui est la question finale formulée, les réponses possibles sont :

- **Oui** : le paramètre permet de satisfaire dans tous les cas les exigences et/ou les conséquences des principes du développement durable, auquel cas on est bien dans une perspective d'un développement durable.
- **S/O** : il n'y a pas de lien entre le paramètre et le principe (sans objet). Cela ne pose donc aucune difficulté.
- **Non** : le paramètre ne permet pas dans la très grande majorité des cas de satisfaire les exigences et /ou les conséquences d'un principe. Il y a donc blocage. Il faut alors chercher à redéfinir le paramètre ou ses critères en tenant compte des conditions locales. Des solutions techniques, sociales, économiques ou environnementales peuvent être trouvées afin de remplacer le non par le oui. Ceci consiste donc à adapter une approche locale ou régionale au cas général.
- **Oui/mais** : le paramètre permet de satisfaire les exigences et/ou les conséquences des principes du développement durable mais sous certaines conditions. La réponse est nuancée et il faut donc satisfaire ces « mais ». Le « oui/mais », c'est un « oui » conditionné par l'adaptation du système ou de ses paramètres du cas général aux conditions locales d'exécution du projet. Cette adaptation aux conditions réelles qui sont les conditions locales, fera l'objet d'une la grille locale.

La partie suivante montre des exemples de chacune de ces réponses.

### 3.4 Élaboration de la grille

Les paramètres, les principes du développement durable retenus ainsi que la question ont été définis dans les sections précédentes.

Les systèmes retenus sont : Système de collecte, Système d'assainissement, Système de sol, Système d'irrigation, Système de culture, Commercialisation, Législation, Environnement,

Santé humaine, Stabilité de la population, Acceptabilité sociale, Aspect socioculturel, Participation des agriculteurs.

Les principes retenus sont :

- Cinq principes du développement durable : pollueur-payeur/ utilisateur-payeur, prévention, précaution, subsidiarité.
- Un principe systémique : 4RVE.

La question formulée :

« Le paramètre permet-il de satisfaire les exigences et/ou les conséquences des principes du développement durable ? »

Il s'agit d'inscrire une évaluation, qualitative non chiffrée, sur chaque case à l'intersection du système et du principe. Cette grille a un caractère général, les systèmes retenus sont généraux et peuvent s'adapter pour n'importe quel projet d'irrigation dans n'importe quelle région. Elle permet de faire un premier tri au niveau des systèmes et aide les décideurs à faire des choix judicieux. Ce tri permet de classer les systèmes entre ceux qui satisfont aux exigences/conséquences des principes du développement durable, ceux qui n'ont aucune interaction et ceux qui doivent être adaptés. C'est donc un moyen qui permet de visualiser d'une manière rapide où se trouve la difficulté et renvoie aux conditions locales d'exécution.

La méthodologie retenue peut facilement s'adapter à d'autres types de projets que la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation.

**Tableau 3**  
Grille générale

	Pollueur/ payeur	Utilisateur/ payeur	Prévention	Précaution	4RV-E	Subsidiarité
Collecte	S/O	S/O	Oui	S/O	Oui	S/O
Assainissement	S/O	S/O	Oui	S/O	Oui	Oui
Sol	S/O	S/O	Oui	S/O	Oui	S/O
Irrigation	S/O	Oui/mais	S/O	S/O	S/O	Oui
Système de culture	S/O	S/O	Oui	Oui	Oui	Oui
Commercialisation	Non	Non	S/O	S/O	S/O	Oui
Législation	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Environnement	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Santé humaine	S/O	S/O	Oui	Oui	S/O	Oui
stabilité population	Non	Non	S/O	S/O	Oui	Oui
Acceptabilité sociale	Non	Non	S/O	S/O	Oui	Oui
Socioculturel	Oui/mais	Oui/mais	Oui/mais	S/O	Oui	Oui
Participation des agriculteurs	Oui	Oui	Oui	S/O	Oui	Oui

NB : 4RV-E : pris dans la grille dans le sens de respect de l'aspect systémique de la terre et de ses ressources.

Afin de faciliter la compréhension de la dynamique de remplissage de la grille, seuls quelques exemples sont considérés; faire l'exercice pour l'ensemble des cases ne présente pas d'intérêt particulier et alourdit le travail.

### 3.4.1 Cas de S/O : collecte/précaution

Étant donné la certitude scientifique que les eaux usées causent des dommages pour la santé humaine et pour l'environnement, l'assainissement ne découle pas de la précaution.

L'acte d'assainir est dicté par la connaissance scientifique et technique contrairement à la précaution qui suppose une absence de certitude.

Le principe et le paramètre sont donc sans lien.

### 3.4.2 Cas de Oui : système de culture/précaution

Le paramètre choisi, système de culture, permet de satisfaire les exigences du principe de précaution.

La situation climatique et économique des zones concernées principalement par la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation conduit à la recherche de plantes tolérantes aussi bien au sel, au manque d'eau, aux insectes, etc. La satisfaction de ces besoins peut entraîner l'introduction de plantes génétiquement modifiées, qui en plus de répondre à ces besoins spécifiques, augmentent les rendements dans ces zones qui en ont grand besoin. Les conséquences de l'introduction de ces plantes génétiquement modifiées dans ces milieux encore vierges ne sont pas connues ni sur la santé humaine ni sur la diversité biologique de ces zones sensibles. En absence de certitude scientifique qu'il ne peut y avoir risque, le principe de précaution trouve toute sa justification dans ce cas. Par l'application du principe de précaution au système de culture, la production agricole projetée sera durable et les risques seront écartés. Dans ce cas le paramètre permet de satisfaire les exigences du principe.

### 3.4.3 Cas de Non

#### 3.4.3.1 Commercialisation/(pollueur-payeur/utilisateur-payeur)

Le terme de commercialisation est utilisé ici pour désigner l'écoulement des productions individuelles sur le marché local ou régional, soit du surplus de production par rapport aux

besoins alimentaires locaux, soit des productions spécifiques pour ces marchés et qui procurent de la trésorerie pour l'agriculteur.

D'une part, la commercialisation permet un enrichissement de l'agriculteur par le biais du marché, ce qui l'amène à produire plus et donc à utiliser davantage la ressource, dans le présent cas l'eau. L'utilisation massive de l'eau usée traitées peut générer des risques de pollution dont l'agriculteur ne se soucie pas. La recherche du profit entraîne une utilisation excessive de l'irrigation et peut générer une pollution aussi excessive. Selon les principes du développement durable, l'agriculteur doit payer aussi bien pour l'utilisation que pour la pollution, alors que la commercialisation le pousse à produire plus pour gagner plus. Les deux principes vont dans le sens contraire du paramètre. Dans ce cas précis, pour l'agriculteur, le paramètre ne permet pas de satisfaire les exigences des deux principes du développement durable. Il faut donc, localement, corriger la situation.

#### 3.4.3.2 Stabilité de la population : pollueur-payeur et utilisateur-payeur

L'exode rural est un phénomène qui se développe d'une manière assez rapide à l'échelle de la planète. Dans les zones arides et semi-arides, ce phénomène est amplifié par les conditions climatiques sévères et par le manque de produits alimentaires, surtout en milieu rural. Les conséquences de cet exode sont les bidonvilles et les quartiers déshérités des métropoles avec les conséquences sur le bien-être, la sécurité, la scolarisation, l'eau potable, le transport, etc. En plus de transférer les problèmes des campagnes en ville, l'exode transforme des zones qui deviennent inhabitées ce qui pose de vrais problèmes de développement régional. Pour stabiliser ces populations dans leur milieu et développer ces régions, il faut des encouragements de toutes sortes pour les motiver, notamment la gratuité des services, entre autres la ressource eau pour la mise en valeur des terres qui sont souvent non productives. Les pouvoirs publics doivent supporter les frais de l'infrastructure et des équipements pour maintenir les populations sur place. Les frais engendrés par d'éventuelles pollutions de ces habitants doivent également être supportés par l'État. Les principes pollueur/payeur et utilisateur/payeur, qui stipulent que le pollueur et l'utilisateur de la ressource doivent la payer, ne permettent pas d'atteindre cet objectif de sédentarisation. Dans ce cas également, le

paramètre ne permet pas de satisfaire aux exigences des deux paramètres du développement durable.

#### 3.4.3.3 Acceptabilité sociale : pollueur-payeur et utilisateur-payeur

Pour faire accepter aux utilisateurs d'irriguer avec une eau réputée dangereuse, les autorités ou les chargés du projet doivent la bonifier en la rendant par exemple gratuite tout en prenant en charge les pollutions éventuelles qui risquent de se produire. Comme dans le cas précédent, ce paramètre ne permet pas de satisfaire les exigences des deux principes du développement durable. D'un côté cela doit être gratuit et de l'autre il faut payer pour la ressource et pour la pollution.

#### 3.4.4 Oui/mais

##### 3.4.4.1 Socioculturel/pollueur-payeur et utilisateur-payeur

L'aspect culturel est probablement le paramètre le plus complexe puisque les cultures ne sont pas souvent homogènes, il y a souvent des sous-cultures divergentes. En plus les cultures ne sont pas stables, elles évoluent avec le temps : valeurs, croyances, coutumes, etc. Dans le cas de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation, l'aspect culturel doit concerner aussi bien l'agriculteur en contact direct avec l'eau, que le consommateur qui doit acheter des produits de cette irrigation. Certaines cultures considèrent les eaux usées traitées impropres et donc écartées. Dans ce cas, les deux principes ne peuvent être respectés. Pour implanter ce type d'irrigation avec les eaux usées dans des zones qui ne peuvent pas s'en passer pour disposer d'une production agricole, il faut abandonner ces deux principes et même trouver d'autres stimulants afin de faire accepter ces projets. Par ailleurs, dans d'autres situations où culturellement le problème ne se pose pas ni pour les agriculteurs ni pour les consommateurs, la satisfaction aux exigences des deux principes se fait aisément.

Les conditions culturelles locales influencent donc grandement la satisfaction des exigences des principes.

#### 3.4.4.2 Irrigation-utilisateur/payeur

Dans les projets d'aménagement hydro-agricole, en général les pouvoirs publics prennent en charge les études de faisabilité et les travaux d'infrastructure à l'extérieur des parcelles et parfois même l'équipement interne des parcelles. Quelque soit le système d'irrigation choisi, c'est l'équipement interne qui se dégrade le plus rapidement.

L'agriculteur doit contribuer financièrement au système d'irrigation interne à la parcelle puisque cela le concerne directement. Pour qu'il se l'approprie, il doit donc l'entretenir et l'utiliser efficacement.

Le paramètre permet de satisfaire les exigences du principe à condition que l'agriculteur prenne en charge les frais relatifs au système d'irrigation interne.

### 3.5 Grille locale

C'est une grille qui est spécifique et qui s'adapte aux conditions locales de réalisation du projet. Les conditions locales varient d'une région à l'autre et chacune à sa spécificité, donc elle ne peut être transposable d'une région à une autre.

La grille générale indique que trois paramètres, commercialisation, stabilité de la population et acceptabilité sociale ne permettent pas de satisfaire les exigences du principe pollueur/payeur et celui d'utilisateur payeur. Cette situation indique que nous ne sommes pas dans une perspective de développement durable. Afin de satisfaire les principes, il faut essayer d'analyser les paramètres dans les conditions spécifiques locales.

Généralement, les agriculteurs dans les périmètres irrigués se regroupent en coopérative, soit pour l'achat des intrants et des équipements, soit pour la vente de leurs productions. Ce genre de regroupement leur procure des bénéfices à l'achat comme à la vente. Les pouvoirs publics et les autorités locales aident à la constitution de ces coopératives sous différentes formes : les locaux, l'équipement et parfois même l'encadrement. Ces coopératives défendent les intérêts des agriculteurs qui sont en fait leurs membres. Un agriculteur seul ne peut pas faire

face à toutes les tâches de production, de commercialisation, etc. D'un autre côté, au niveau de la coopérative, les agriculteurs se mettent d'accord sur les cultures que chacun doit mettre en oeuvre pour éviter une concurrence inutile et pour permettre au prix d'augmenter. L'agriculteur peut disposer d'avance de fonds en attendant ses récoltes, ce qui lui évite de recourir à des cultures non permises comme les salades, ce qui respecte le principe de prévention. Les agriculteurs peuvent aussi stocker leur production dans les coopératives en cas de surplus pour éviter de les écouler à bas prix. Dans ce type d'organisation où l'agriculteur se sent impliqué et ses intérêts sauvegardés, il est donc plus facile pour lui de cotiser en fonction de ses revenus pour le maintien et le développement de cette structure. À partir de ces contributions, la coopérative peut payer en cas de pollution et participer aux dépenses liées à la consommation de l'eau. Si la commercialisation qui est un terme général utilisé dans la grille théorique, devient localement « coopérative de commercialisation », alors la situation changera dans le lien entre paramètre et principe. Les deux principes ne seront donc pas respectés par l'agriculteur directement mais par ses fonds par l'intermédiaire de ces coopératives. En introduisant la notion de coopérative de commercialisation, le nouveau paramètre satisfera les exigences de tous les principes.

Le paramètre stabilité de la population n'est pas en accord avec les deux principes pollueur/payeur et utilisateur/payeur. Comme expliqué précédemment, il faut motiver les agriculteurs pour qu'ils restent chez eux en leur procurant une vie décente par la réalisation des services de base : l'eau, l'école, les soins de santé, etc.

Si le paramètre initial, stabilité de la population, devenait « aide à la sédentarisation », alors, le lien avec le paramètre changerait. En effet, des programmes peuvent être développés localement pour aider les gens à se sédentariser, notamment des prêts à long terme et sans intérêt, garantis par l'état pour construire des logements décents, pour acheter l'équipement et le cheptel. De cette manière, l'agriculteur sera attaché à ses biens, disposera de la trésorerie à travers le cheptel et devra travailler fort dans la production pour rembourser ses dettes. Encouragé par les pouvoirs publics, l'agriculteur qui verra sa situation économique s'améliorer ainsi que son bien-être et celui de sa famille, n'a pas de choix que de conserver son milieu contre toute pollution ou le cas échéant de payer pour y remédier et participer au



coût pour l'utilisation de la ressource afin d'irriguer ses terres. Alors, l'aide à la sédentarisation satisfera les deux principes.

L'acceptabilité sociale est un autre paramètre ne permettant pas la satisfaction des exigences des principes pollueur/payeur et utilisateur/payeur.

D'une façon générale, les agriculteurs aiment les subventions, et n'acceptent jamais de payer quoi que ce soit. Ceci n'est pas uniquement une caractéristique des zones arides et semi-arides.

Si on change localement ce paramètre par « l'implication dans la collectivité », la donne va changer. En effet, disposer d'une terre irriguée dans les conditions climatiques locales fait de ces agriculteurs des privilégiés, leurs conditions matérielles changent et leur bien être s'améliore. Pour préserver cet atout, les agriculteurs doivent collectivement contribuer pour payer la ressource, les frais d'énergie, l'entretien d'irrigation. De même, en cas de pollution, ils auront à défrayer les coûts qui sont afférents. En changeant par l'implication dans la collectivité, les agriculteurs se sentent interpellés et assument leur devoir. Du coup, il n'y a pas de désaccord entre ce paramètre et les principes.

**Tableau 4**  
Grille locale

	Pollueur-payeur	Utilisateur-payeur	Prévention	précaution	4RV-E	subsidiarité
Coopérative de commercialisation	Oui	Oui	Oui	S/O	Oui	Oui
Aide à la sédentarisation	Oui	Oui	Oui	S/O	Oui	Oui
Implication dans la collectivité	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Respect de la culture	Oui	Oui	Oui	S/O	Oui	Oui

Les systèmes qui étaient en désaccord avec les principes dans la grille générale, le sont devenus dans la grille locale, en les adaptant aux conditions du milieu.

Les décideurs mus par le développement durable, auront plus de facilité et d'objectivité à prendre des décisions dans cette approche puisqu'elle rend plus claire la conformité du projet par rapport au développement durable que dans le cadre des mesures d'atténuation.

Évidemment, d'autres « solutions » auraient pu être proposées, en lien avec une situation locale donnée. Mais l'exercice effectué ici illustre l'utilisation de la méthodologie.

## **CHAPITRE IV**

### **DISCUSSION**

La méthode proposée consiste à inscrire un projet de réutilisation des eaux usées traitées en irrigation dans une perspective de développement durable, et ce dès son élaboration. Elle consiste à identifier pour le projet en question, les systèmes qui le compose ainsi que les paramètres qui leurs sont associés, à choisir les principes du développement durable ou tout autres principes pertinent pour le projet, à définir la question et à élaborer la grille.

#### **4.1 Choix des systèmes**

Le projet d'irrigation par les eaux usées a été divisé en systèmes. Il y a des systèmes physiques et techniques et des systèmes humains et sociétaux. Pour chaque système des paramètres ont été identifiés et bien définis pour avoir la couverture la plus complète possible des aspects du projet. La décomposition du projet en systèmes peut s'adapter à n'importe quel projet, la division et la nomenclature peut varier d'un projet à l'autre. L'inventaire des systèmes caractéristiques de chaque projet est une étape importante dans le processus. Les systèmes doivent être définis de telle sorte qu'il n'y ait ni chevauchement ni redondance. Dans notre cas, les systèmes choisis sont relatifs à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation. Le schéma des systèmes se rapportant à l'irrigation (fig. 2), introduit au chapitre III, permet de mettre en évidence les composantes du projet, et d'identifier les systèmes importants dont il faut tenir compte. La liste peut être considérée comme exhaustive. Cependant, elle ne l'est jamais, pas plus qu'elle n'est unique. Elle peut être améliorée par d'autres méthodes : DELPHI, etc. Une fois l'inventaire des systèmes complété, il faut préciser pour chacun la signification des paramètres qui lui sont liés pour éviter des interprétations erronées. Cette étape de choix de systèmes et de leurs paramètres n'est pas

spécifique à la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation, mais s'applique à tous les autres projets.

La liste des paramètres ainsi établie, servira à l'élaboration de la grille, et ce pour tout projet. D'un projet à l'autre, cela limite la subjectivité. De plus, il faut éviter d'avoir une liste longue et non pertinente de paramètres ce qui complique inutilement la démarche.

Ce processus d'inventaire des systèmes paramètres relatif à chaque projet permet de minimiser les incertitudes et les imprécisions qui peuvent l'affecter et contribue à uniformiser la base de travail des décideurs et les acteurs. Il aide à prendre des décisions autant que possible objectives loin des habitudes et jugements personnels des décideurs concernés par le projet qui ont souvent des intérêts divergents.

## **4.2 Les principes du développement durable**

Lors de la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement tenue à Rio du 3 au 14 juin 1992, 27 principes ont été énoncés.

Tenir compte de l'ensemble des principes peut être fastidieux et ne présente pas un intérêt particulier, puisque tous les principes ne sont pas nécessairement pertinents pour tous les projets ou toutes les situations.

Dans le cas de la réutilisation des eaux usées traitées, cinq principes du développement durable ont été retenus (pollueur-payeur, utilisateur-payeur, prévention, précaution, subsidiarité) et un principe, 4 RVE, qui est un principe systémique et qui s'apparente au huitième principe de la déclaration de Rio). Ce choix a été dicté, d'une part, par le fait que ces principes sont les plus connus et les plus utilisés en matière d'environnement et, d'autre part parce qu'ils cadreraient parfaitement avec le sujet. En effet, lorsqu'il s'agit de collecte des eaux usées et de leur assainissement, les principes pollueur/payeur et utilisateur/payeur trouvent toute leur place, tandis que pour l'irrigation avec des eaux usées, qui peut mettre en jeu la santé humaine, animale et celle de l'écosystème, la prévention et la précaution sont

largement justifiés. La subsidiarité est amplement justifiée par le fait que se sont les agriculteurs qui peuvent accepter ce type de projet, le réussir ou l'abandonner. En plus de ces principes de la déclaration de Rio, un autre principe a été ajouté qui est les 4RVE. On ne trouve pas l'énoncé de ce principe tel quel dans la déclaration, mais on y trouve celui qui s'apparente un peu qui est le huitième principe relatif à la consommation et production soutenables. La réutilisation des eaux usées en irrigation est une approche systémique et le principe des 4 RVE est celui qui intègre le plus la notion de système et est considéré comme parmi les plus importants au niveau du développement durable. Il apparaît que le choix ne s'est pas limité aux seuls principes de la déclaration de Rio, mais en y ajoutant un principe très fort au niveau du développement durable.

Ce cas particulier de la réutilisation des eaux usées montre que le choix des principes doit se faire en conformité avec le projet en question. Il n'est pas requis de tenir compte des vingt sept principes qui, dans la majorité des cas ne sont pas tous pertinents pour tous les projets. Également, ce cas particulier met en évidence qu'il y a lieu d'intégrer d'autres principes que ceux énoncés dans la déclaration de Rio si la spécificité du projet l'exige.

Pour chaque projet, il s'avère pertinent de choisir des principes qui tiennent compte le plus possible de l'activité en question, de préférence parmi les plus cités, les plus connus et les plus utilisés. Ce choix évite une longue liste de principes qui rend le travail fastidieux et parfois inutile.

### **4.3 Choix de la question**

Une fois les systèmes définis, les paramètres identifiés et les principes choisis, il reste à déterminer le filtre. Autrement dit, quelle sera la question à poser qui déterminera la relation entre paramètre et principe, pour permettre de conclure que ce paramètre s'inscrit dans une perspective du développement durable ou non. La question doit être choisie de telle manière que la réponse, qui sera inscrite sur chaque case de la grille, soit la plus objective possible et soit aussi discriminante. Plusieurs formulations ont été étudiées. À chaque fois qu'une réponse à la question posée était formulée, il apparaissait que cette réponse n'était ni unique

ni suffisamment claire pour permettre de trancher. Il fallait donc élaborer une nouvelle question.

Parmi les difficultés entre autres soulevées par les questions formulées, il y a lieu de citer par exemple :

- Que veut dire « l'accord entre le principe/paramètre » ?
- Que veut dire « respect entre paramètre et principe » ?
- Comment peut on concrètement traduire « l'influence du principe sur le paramètre » ou encore « la compatibilité entre les deux » ? Etc.

La formulation de la question constitue donc une étape importante dans le processus de la construction de la grille autant que les systèmes et les principes. En revanche, une formulation valable de la question est valable pour tous les domaines.

Le choix final a porté sur une question qui a l'avantage de minimiser la subjectivité et permettre des réponses le plus possible discriminantes. L'énoncé de la question retenue est la suivante :

« Le paramètre X permet-il de satisfaire les exigences et/ou les conséquences des principes Y du développement durable lors de sa mise en oeuvre ? ».

Cette question a permis d'avoir des réponses discriminantes et le plus possible objectives ce qui a permis l'élaboration de la grille.

Le processus qui a été suivi dans le cas de la réutilisation des eaux usées traitées peut servir comme base pour d'autres projets dans l'objectif de les rendre durables.

#### **4.4 Élaboration de la grille**

Les systèmes étant définis, les principes choisis et la question formulée, alors reste l'élaboration de la grille. Celle-ci est construite de façon à ce que les paramètres constituent

la première colonne et les principes la première ligne. Chaque paramètre est évalué en regard des principes choisis à travers la question qui était préalablement formulée.

Dans cette grille théorique, l'échelle de mesure dans chaque case, entre systèmes et principes, est qualitative. Les réponses possibles sont : « oui », « non », « sans objet » et « oui/mais ».

Le «oui/mais» est un cas intéressant, en effet, les conditions pour satisfaire aux exigences ou aux conséquences des principes du développement durable lors de sa mise en œuvre, dépendent du système et souvent des facteurs locaux. Le ou les systèmes du projet doivent intégrer ces spécificités locales et doivent en tenir compte pour éviter le « mais ». Il y a ici un processus itératif lors de l'élaboration de la grille. On part du système identifié à travers la question, on découvre qu'il y a des conditions pour qu'il satisfasse aux exigences ou aux conséquences des principes, on retourne au système pour adapter un ou plusieurs de ses paramètres aux conditions locales, et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'un oui sans conditions ni « mais ».

Le recours aux principes de développement durable, dès lors que le projet est en cours d'élaboration, est innovateur dans la mesure où on s'intéresse à l'ensemble des composantes du projet, pour qu'elles s'inscrivent dans une perspective de développement durable. Elle apporte une contribution nouvelle d'une part, par rapport à la démarche actuelle utilisée dans ce domaine qui est basée sur l'unique critère microbiologique, qui est à la base des normes de l'OMS pour la protection de la santé humaine et, d'autre part, par rapport aux études d'impacts qui consistent à préconiser des mesures d'atténuation puisqu'elles interviennent entre la fin de la conception du projet et le début de son exécution.

Le fait que chaque système identifié du projet, doit satisfaire aux exigences/conséquences des principes du développement durable choisis pour le projet, contribue à atténuer les effets négatifs du projet, sur le plan social, économique et environnemental.

Cette approche peut être considérée comme une méthode qui aide à la prise de décision dans le cadre d'un développement durable. L'utilité de la grille générale est de faire ressortir les goulots d'étranglement, là où le système n'est pas en lien avec le principe. Elle permet aux décideurs des retours en arrière, dans un processus itératif pour redéfinir les systèmes et les

adapter aux conditions locales ce qui donne lieu à la grille locale. Elle permet également de faire des recommandations finales en attirant l'attention des responsables sur l'adéquation des systèmes du projet par rapport aux principes du développement durable.

Comme la grille utilise les principes du développement durable, les aspects sociaux, économiques et environnementaux sont pris en compte et il y aura donc moins de risque à craindre.

L'étude du cas particulier de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation peut servir comme base pour tout autre projet et la démarche peut être suivie et améliorée. La grille générale peut être appliquée à n'importe quel projet et permet de faire ressortir d'une manière globale les systèmes pouvant influencer la durabilité du projet. Le processus itératif qui consiste à faire adapter chaque système aux conditions locales est également transposable aux autres projets. Ce qui peut changer dans le cas d'un autre projet, c'est la définition des systèmes et le choix des principes. La question, quant à elle, peut être formulée de la même manière. L'approche reste théorique puisqu'il n'y a pas de résultat sur le terrain qui peut étayer cette démarche. Elle devra donc être enrichie par d'autres recherches et pourra être jumelée à d'autres méthodes de prise de décision.

#### **4.5 Limites de la méthode :**

Comme beaucoup d'autres méthodes, celle-ci souffre de limites on peut citer entre autres :

- systèmes : comme le choix des systèmes est une étape importante dans le processus, comment peut-on savoir que le nombre choisi des systèmes est le bon? Est-ce qu'il n'y a pas trop de systèmes ou trop peu? À quel niveau faut-il s'arrêter?
- Les principes : selon la déclaration de Rio il y a 27 principes; faut-il tenir compte de l'ensemble de ces principes? Est-ce que ceux choisis sont suffisants pour conclure



qu'un projet est dans une perspective de développement durable ou non? Doit-on adapter pour chaque projet spécifique des principes bien définis?

#### **4.6 Recommandations**

La méthode proposée présente certainement des lacunes. Il est normal que des recommandations soient formulées pour d'éventuelles recherches. Ainsi, il est recommandé de :

- raffiner chaque étape de la méthode, choix des systèmes, des principes, la question, etc.;
- valider la méthode par des travaux de recherche sur le terrain;
- rechercher l'influence des évolutions de la réutilisation des eaux usées en fonction des normes de l'OMS;
- étude comparative entre, les normes de l'OMS, l'étude d'impact et la présente méthodologie sur l'implantation de projet d'irrigation par les eaux usées.

## CONCLUSION

L'objectif de la présente recherche consistait à proposer une nouvelle méthodologie pour un projet d'irrigation par les eaux usées qui s'inscrivait dans un cadre de développement durable. Généralement, ce type de projets se fait uniquement en conformité avec les normes de l'OMS. Ce qui différencie la présente étude est d'une part l'identification de l'ensemble des systèmes en jeu, chaque système pouvant être caractérisé par un ou plusieurs paramètres. D'autre part, elle contribue à faire inscrire le projet dans une perspective de développement durable au moment même de sa conception.

L'étude contribue donc à faire des choix et permet de prendre des décisions d'une manière éclairée. La méthodologie décrite au chapitre III, qui inclut le choix des systèmes, des principes de développement durable, la question, l'élaboration de la grille générale et locale, peut être adaptée à d'autres projets en tenant compte des spécificités de chaque cas. Elle ne permet pas d'avoir des solutions miracles, mais selon son utilisateur et ses objectifs, elle peut être adaptée et améliorée.

Cette méthode peut être améliorée, raffinée et probablement testée sur le terrain pour ce projet ou un autre afin de mieux cerner ses apports et ses limites. Il est clair que sans volonté politique et une bonne gouvernance, la méthodologie reste une condition nécessaire mais non suffisante.

## BIBLIOGRAPHIE

- Ayres, R.S. et D.W. Westcot. 1985. *Water quality for agriculture*, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome.
- Ayres, R. S., et D. D. Mara. 1997. *Analyse des eaux résiduaires en vue de leur recyclage en agriculture (Manuel des techniques de laboratoire en parasitologie et bactériologie)*. Genève: Organisation mondiale de la santé, 37 p.
- Bahri, A. 2002. *Réutilisation agricole des eaux usées*, Agridoc – Revue thématique, Octobre 2002, No. 4, pp. 22-23.
- Barlow, M., et T. Clarke. 2005. *L'or bleu : l'eau, nouvel enjeu stratégique et commercial*, Nouv. éd. mise à jour. Coll. «Boréal Compact ; 170». Montréal: Boréal, x, 390 p.
- Bigirindavyi, S. 2003. *Élaboration d'une méthode de sélection des techniques d'assainissement : application au cas du Burundi*. Montréal: Université du Québec à Montréal, ix, 92 f.
- Bourque P. A. 2006. *Les eaux de ruissellement*. In Université Laval. Site du département de géologie, [En ligne]. <http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/eaux.ruissellement.html> (Page consultée le 20 Septembre 2007)
- Brooks, D. B. 2002. *L'eau : Gérer localement*. Ottawa : Centre de recherches pour le développement international, 80 p.
- Brundtland, G. 1989. *Notre avenir à tous*. Montréal (Québec) : Ed. du Fleuve : diff. Frison-Roche. 432 p.
- CIEAU. *L'histoire de l'eau*. In Centre d'information sur l'eau, [En ligne] <http://www.cieau.com/toutpubl/sommaire/texte/3/contenu/3.htm> (Page consultée le 22 Septembre 2007)
- Collomb P. 1999. *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050*. Paris : Economica, 280 p.
- de Sadeleer, N. 1999. *Les principes du pollueur-payeur, de prévention et de précaution essai sur la genèse et la portée juridique de quelques principes du droit de l'environnement*. Coll. «Universités francophones». Bruxelles: Bruylant, 437 p.
- Dean, R. B., et E. Lund. 1981. *Water reuse problems and solutions*. London ; Toronto: Academic Press, xvii, 264 p.

- Delsol, C. 1993. *Le principe de subsidiarité*. Coll. «Que sais-je? 2793». Paris: Presses universitaires de France, 127 p.
- Ewald, F., C. Gollier et N. de Sadeleer. 2001. *Le principe de précaution*, 1re éd. Coll. «Que sais-je? ; 3596». Paris: Presses universitaires de France, 127 p.
- ECOSSE D. 2001 - *Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde: Qualité et Gestion de l'Eau*. Amiens : Faculté des sciences, 62 p.
- Faruqi, N. I., A. K. Biswas et M. J. Bino. 2003. *La gestion de l'eau selon l'Islam*. Crdi-Karthala, 220 p.
- Figuères, C., J. Rockström et C. Tortajada. 2003. *Rethinking water management : innovative approaches to contemporary issues*. Sterling, VA: Earthscan Publications, xiii, 242 p.
- Leduc, G. A., et M. Raymond. 2000. *L'évaluation des impacts environnementaux un outil d'aide à la décision*. Sainte-Foy, Québec: MultiMondes, xxi, 403 , 416 de pl. p.
- Mara, D., et S. Cairncross. 1991. *Guide pour l'utilisation sans risques des eaux résiduaires et des excréta en agriculture et aquaculture*. Genève : Organisation mondial de la santé, 212 p.
- Mara, D. 2004. *Domestic wastewater treatment in developing countries*. London ; Sterling, VA: Earthscan Publications, xvi, 293 p. En ligne.  
<<http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip0410/2003023959.html> >.
- OMS (1989). *Utilisation des eaux usées en agriculture et aquaculture : recommandations à visées sanitaires*. Genève, OMS. 778: 205 p
- Pescod, M.B. 1992. *Wastewater treatment and use in agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Rome: FAO. 125 p.
- Pettygrove, G.S. and T. Asano (Ed). 1984. *Irrigation with reclaimed municipal wastewater - A Guidance Manual*. California State Water Resources Control Board, Report No. 84, Sacramento.
- RNEDHA. 1992. *Guide pratique irrigation*. Coll. «Guide Pratique du CEMAGREF». Paris : France Agrigole. 294 p.
- Rigny, P. 2004. *Pratiques scientifiques et maîtrise de l'environnement*. Paris: Les cahiers des clubs CRIN, 214 p.
- Schärlig, A. 1985. *Decider sur plusieurs criteres panorama de l'aide a la decision multicritere*. Lausanne: Presses polytechniques romandes, 304 p.

- Shuval, H. I. 1977. *Water renovation and reuse*. Coll. «Water pollution». New York: Academic Press, xiii, 463 p.
- Simos, J. 1990. *Evaluer l'impact sur l'environnement une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation*. Coll. «Meta». Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, xi, 261 p.
- Sivakuma, S. K. 2004. « Si vous n'avez pas d'eau, importez vos céréales ! ». Courrier international (Paris). 29 juillet.
- Valiron, F., J. J. Colin et France Bureau de recherches géologiques et minières. 1983. *La Réutilisation des eaux usées*. Paris: Editions du B.R.G.M., viii, 207 p.
- Vincke, P. 1989. *L'aide multicritère à la décision*. Coll. «Statistique et mathématiques appliquées». Paris, Bruxelles: Ellipses, Éditions de l'Université de Bruxelles, 179 p.
- UNFPA. 2001. *L'état de la population mondiale 2001*. 76 p. En ligne : <http://www.unfpa.org/swp/2001/francais/index.html>.

## ANNEXE A

### BESOINS EN EAU DE QUELQUES CULTURES

<b>Culture</b>	<b>Besoins en eau (mm/période de croissance)</b>
Luzerne	800 – 1600
Banane	1200 – 2200
Haricot	300 – 500
Choux	380 – 500
Agrumes	900 – 1200
Coton	700 – 1300
Arachide	500 – 800
Maïs	500 – 800
Pomme de terre	500 – 700
Riz	350 – 700
Tournesol	800 – 1200
Sorgho	450 – 650
Blé	450 – 650

(Source : adapté de Pescod, 1992)

## **ANNEXE B**

DIRECTIVES DE QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE RECOMMANDÉE POUR L'USAGE D'EAU USÉE  
EN AGRICULTURE



Caté- gorie	Conditions de réalisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux <sup>a</sup> (nbre d'oeufs/litre) moyenne arithmétique	Coliformes intestinaux (nbre par 100 ml) moyenne <sup>b</sup> géométrique	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics <sup>c</sup>	Ouvriers agricoles, consommateurs, public	Maximum 1	Maximum 1000 <sup>d</sup>	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres <sup>e</sup>	Ouvriers agricoles	Maximum 1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B (si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés)	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins une sédimentation primaire

(Source : OMS, 1989)

**a** Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes.

**b** Pendant la période d'irrigation.

**c** Une directive plus stricte (< 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

**d** Cette recommandation peut être assouplie quand les plantes comestibles sont systématiquement consommées après une longue cuisson.

**e** Dans le cas d'arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

## **ANNEXE C**

CONSTITUANTS D'INTÉRÊT SPÉCIAL DANS LE TRAITEMENT DES EAUX  
RÉSIDUAIRES ET DE L'IRRIGATION AVEC DES EAUX USÉES TRAITÉS

Constituant	Paramètres mesurés	Raison de l'intérêt
Matières en suspension	Matière en suspension, y compris les matières volatiles et fixes	Les matières en suspension peuvent mener au développement des dépôts de boues et de conditions anaérobies lorsque l'eau usée non traitée est rejetée dans l'environnement aquatique. Les quantités excessives de matières en suspension causent le colmatage des systèmes d'irrigation.
Matières organiques biodégradables	Demande Biochimique en Oxygène, Demande Chimique en Oxygène	Composé principalement de protéines, d'hydrates de carbone et de graisses. Si elles sont rejetées dans l'environnement, leur décomposition biologique peut mener à l'épuisement de l'oxygène dissous des eaux réceptrices et au développement de conditions septiques.
Pathogènes	Organismes indicateurs, coliformes totaux et fécaux	Les maladies contagieuses peuvent être transmises par les microbes pathogènes dans l'eau usée : bactéries, virus, parasites.
Nutriments	Azote, Phosphore, Potassium	L'azote, le phosphore et le potassium sont les nutriments essentiels à la croissance des plantes et leur présence augmente normalement la valeur de l'eau pour l'irrigation. Une fois déchargés dans l'environnement aquatique, l'azote et le phosphore peuvent mener à la croissance d'une vie aquatique indésirable. Une fois déchargé en quantités excessives sur les sols, l'azote peut également mener à la pollution des eaux souterraines.
Matières organiques stables (réfractaires)	Composés spécifiques (par exemple : phénols, pesticides, hydrocarbures chlorés)	Ces produits organiques résistent à des méthodes conventionnelles de traitement des eaux résiduaires. Quelques composés organiques sont toxiques dans l'environnement et leur présence peut limiter la convenance de l'eau usée pour l'irrigation.
L'activité de l'ion hydrogène	pH	Le pH de l'eau usée affecte la solubilité des métaux ainsi que l'alcalinité des sols. La gamme normale dans l'eau usée municipale est pH = 6,5 à 8,5, mais les eaux usées industrielles peuvent modifier le pH de manière significative.
Métaux lourds	éléments spécifiques (par exemple: Cd, Zn, Ni, Hg)	Quelques métaux lourds s'accumulent dans l'environnement et sont toxiques pour les plantes et les animaux. Leur présence peut limiter la convenance de l'eau usagée pour l'irrigation.
Matières minérales dissoutes	Matières totales dissoutes, conductivité électrique, éléments spécifiques (par exemple : Na, Ca, Mg, Cl, B)	La salinité excessive peut endommager certaines cultures. Les ions spécifiques tels que le chlorure, le sodium, le bore sont toxiques pour certaines cultures. Le sodium peut poser des problèmes de perméabilité du sol.

Chlore résiduel	Chlore libre et combiné	Des quantités excessives de chlore disponible libre (>5 mg/l de $\text{Cl}_2$ ) peuvent causer des nécroses foliaires et endommager certaines cultures sensibles. Cependant, la plupart du chlore dans l'eau usée épurée est sous une forme combinée qui n'endommage pas les cultures. Quelques inquiétudes existent quant aux effets toxiques des matières organiques chlorées en regard de la contamination des eaux souterraines.
-----------------	-------------------------	--

(Source : Pettygrove, 1984)

## **ANNEXE D**

TYPES DE TRAITEMENT D'EAUX USÉES EN FONCTION DES CULTURES ET SELON  
LES PAYS

	California	Israel	South Africa	Germany
Orchards and vineyards	Primary <sup>1</sup> effluent; no spray irrigation; no use of dropped fruit	Secondary <sup>2</sup> effluent	Tertiary <sup>3</sup> effluent, heavily chlorinated where possible.	No spray irrigation in the vicinity
Fodder fibre crops and seed crops	Primary effluent; surface or spray irrigation	Secondary effluent, but irrigation of seed crops for producing edible vegetables not permitted	Tertiary effluent	Pretreatment with screening and settling tanks. For spray irrigation, biological treatment and chlorination
Crops for human consumption that will be processed to kill pathogens	For surface irrigation, primary effluent. For spray irrigation, disinfected secondary effluent (no more than 23 coliform organisms per 100 ml)	Vegetables for human consumption not to be irrigated with renovated wastewater unless it has been properly disinfected (1000 coliform organisms per 100 ml in 80% of samples)	Tertiary effluent	Irrigation up to 4 weeks before harvesting only
Crops for human consumption in a raw state	For irrigation, no more than 2.2 coliform organisms per 100 ml. For spray irrigation, disinfected, filtered wastewater with turbidity of 10 units permitted, providing it has been treated by coagulation	Not to be irrigated with renovated wastewater unless they consist of fruits that are peeled before eating		Potatoes and cereals – irrigation through flowering stage only

(Source : Adapté de Ayres et wescot, 1985)

<sup>1</sup> Primary treatment of wastewater refers to the settling and removal of a portion of the suspended organic and inorganic solids.

<sup>2</sup> Secondary treatment refers to the activated sludge process and biological filtration (trickling filtration). It may also include retention.

<sup>3</sup> Tertiary or Advanced Treatment includes several processes depending on the use of the final product but usually includes clarification, activated carbon treatment, denitrification and ion exchange.

## **ANNEXE E**

NORMES POUR L'UTILISATION DE L'EAU D'IRRIGATION

Potential Irrigation Problem		Units	Degree of Restriction on Use		
			None	Slight to Moderate	Severe
<b>Salinity</b> (affects crop water availability) <sup>1</sup>					
	EC <sub>w</sub>	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	(or)				
	TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
<b>Infiltration</b> (affects infiltration rate of water into the soil. Evaluate using EC <sub>w</sub> and SAR together) <sup>2</sup>					
SAR	= 0 – 3	and EC <sub>w</sub> =	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	= 3 – 6	=	> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	= 6 – 12	=	> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	= 12 – 20	=	> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	= 20 – 40	=	> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
<b>Specific Ion Toxicity</b> (affects sensitive crops)					
	<b>Sodium (Na)</b>				
	surface irrigation	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
	<b>Chloride (Cl)</b>				
	surface irrigation	me/l	< 4	4 – 10	> 10
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
	<b>Boron (B)</b>	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
<b>Miscellaneous Effects</b> (affects susceptible crops)					
	<b>Nitrogen (NO<sub>3</sub> - N)</b> <sup>3</sup>	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
	<b>Bicarbonate (HCO<sub>3</sub>)</b>				
	(overhead sprinkling only)	me/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
	pH		Normal Range 6.5 – 8.4		

(Source: Adapté de Ayres et wescot, 1985)

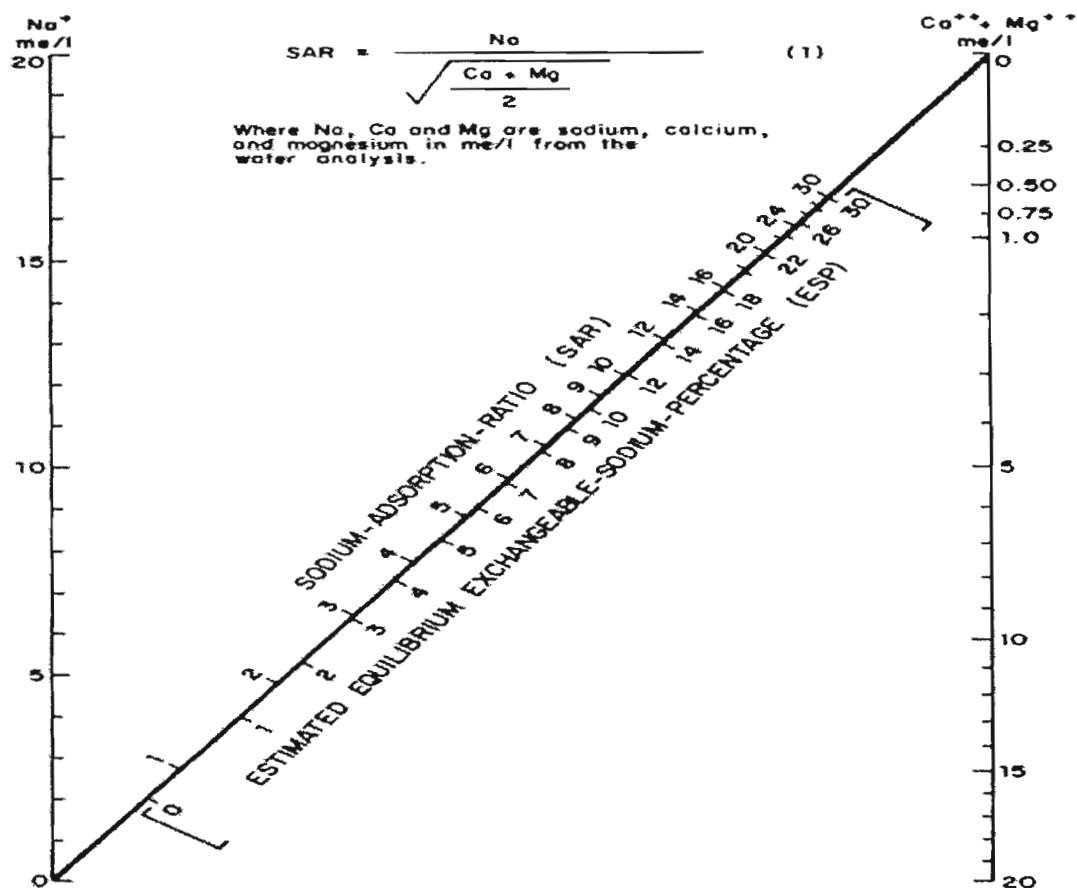
<sup>1</sup> EC<sub>w</sub> means electrical conductivity, a measure of the water salinity, reported in deciSiemens per metre at 25°C (dS/m) or in units millimhos per centimetre (mmho/cm). Both are equivalent. TDS means total dissolved solids, reported in milligrams per litre (mg/l).

<sup>2</sup> SAR means sodium adsorption ratio. SAR is sometimes reported by the symbol RNa.

<sup>3</sup> NO<sub>3</sub> -N means nitrate nitrogen reported in terms of elemental nitrogen (NH<sub>4</sub> -N and Organic-N should be included when wastewater is being tested).



# Calcul de la valeur du Sodium Adsorption Ratio (SAR)



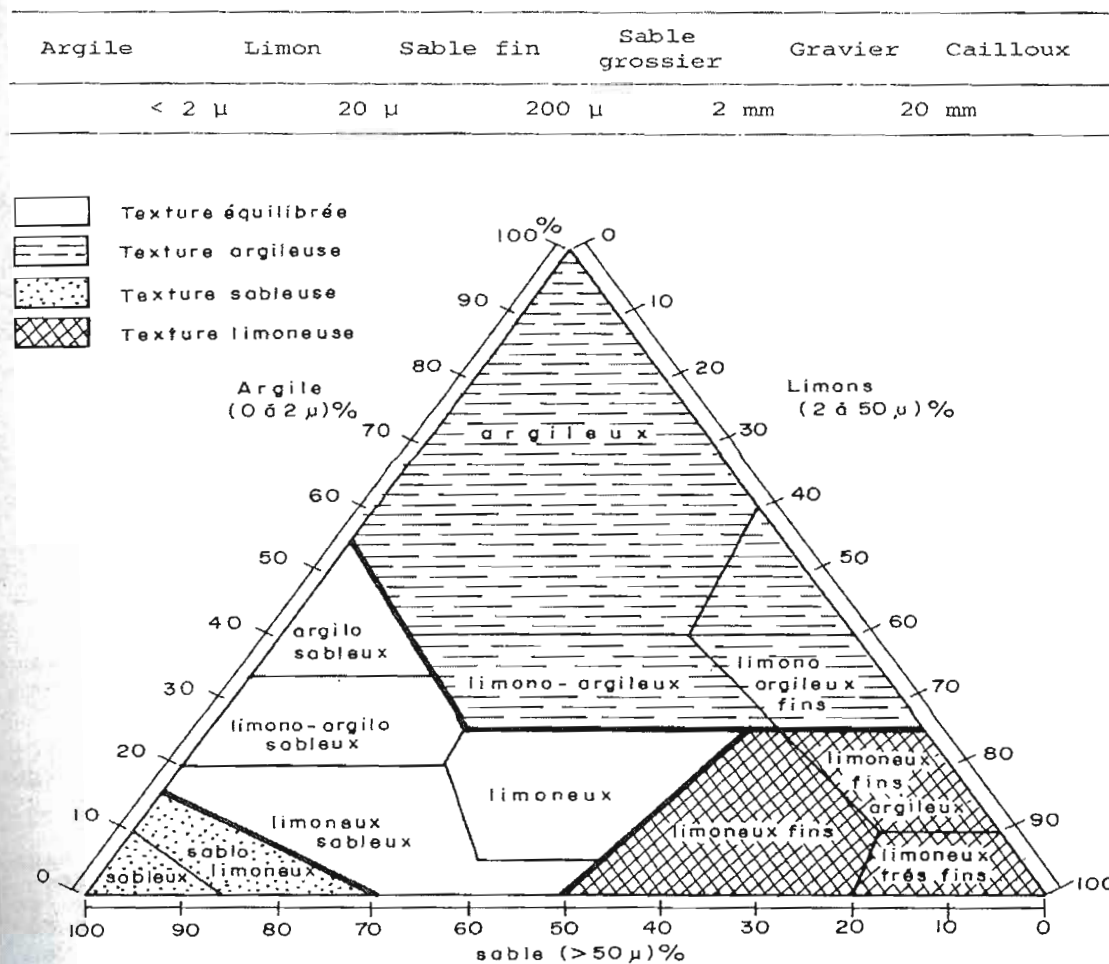
Nomogram for determining the SAR value of irrigation water and for estimating the corresponding ESP value of a soil that is at equilibrium with the water

(Source: Ayres et wescot, 1985)

## **ANNEXE F**

### STRUCTURE DU SOL

*Classification des sols (D'après Atterberg)*



*Triangle des textures*

(Source : Valiron et al, 1983)

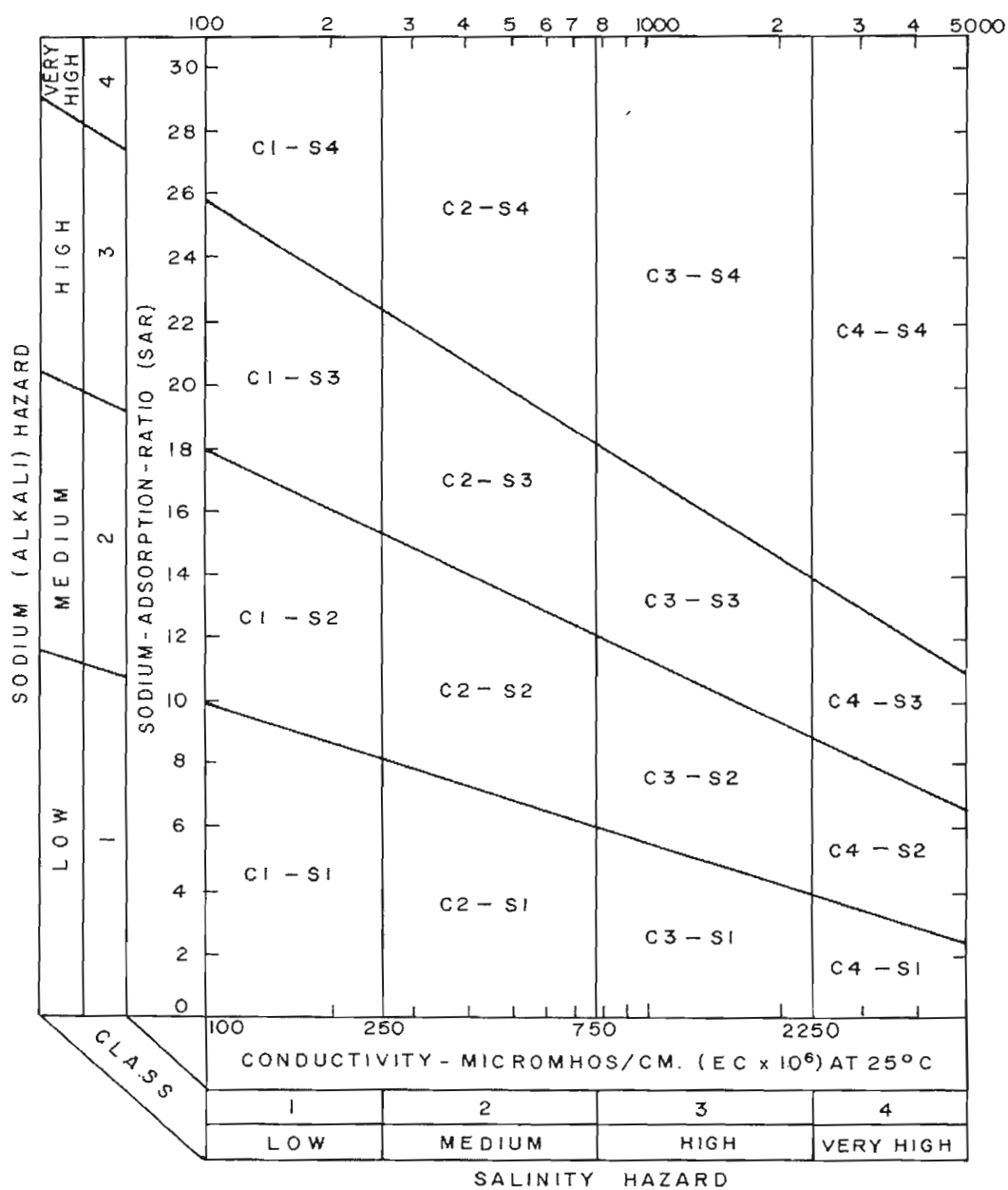


Diagramme de classification des eaux d'irrigation

(Source : Valiron et al., 1983)

Degré	Qualité	Classes	
1	"Excellente"	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols
2	"Bonne"	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité  Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux)
3	"Admissible"	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée  Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à faible perméabilité
4	"Médiocre"	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés
5	"Mauvaise"	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel

(Source: Valiron et al., 1983)

## **ANNEXE G**

### **LES 27 PRINCIPES DE LA DÉCLARATION DE RIO**

**Principe 1 : Développement centré sur l'être humain**

Les êtres humains sont au centre des préoccupations relatives au développement durable. Ils ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature.

**Principe 2 : Souveraineté et responsabilité**

Conformément à la Charte des Nations unies et aux principes du droit international, les États ont le droit souverain d'exploiter leurs propres ressources selon leur politique d'environnement et de développement, et ils ont le devoir de faire en sorte que les activités exercées dans les limites de leur juridiction ou sous leur contrôle ne causent pas de dommages à l'environnement dans d'autres États ou dans des zones ne relevant d'aucune juridiction nationale.

**Principe 3 : Équité inter- et intergénérationnelle**

Le droit au développement doit être réalisé de façon à satisfaire équitablement les besoins relatifs au développement et à l'environnement des générations présentes et futures.

**Principe 4 : Intégration de l'environnement aux autres dimensions du développement**

Pour parvenir à un développement durable, la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement et ne peut être considérée isolément.

**Principe 5 : Élimination de la pauvreté**

Tous les États et tous les peuples doivent coopérer à la tâche essentielle de l'élimination de la pauvreté, qui constitue une condition indispensable du développement durable, afin de réduire les différences de niveaux de vie et de mieux répondre aux besoins de la majorité des peuples du monde.

**Principe 6 : Besoins particuliers des pays en développement**

La situation et les besoins particuliers des pays en développement, en particulier des pays les moins avancés et des pays les plus vulnérables sur le plan de l'environnement, doivent se voir accorder une priorité spéciale. Les actions internationales entreprises en matière d'environnement et de développement devraient également prendre en considération les intérêts et les besoins de tous les pays.

**Principe 7 : Responsabilités communes mais différenciées**

Les États doivent coopérer dans un esprit de partenariat mondial en vue de conserver, de protéger et de rétablir la santé et l'intégrité de l'écosystème terrestre. Étant donné la diversité des rôles joués dans la dégradation de l'environnement mondial, les États ont des responsabilités communes mais différenciées. Les pays développés admettent la responsabilité qui leur incombe dans l'effort international en faveur du développement durable, compte tenu des pressions que leurs sociétés exercent sur l'environnement mondial et des techniques et des ressources financières dont ils disposent.

**Principe 8 : Consommation et production soutenables et politiques démographiques appropriées**

Afin de parvenir à un développement durable et à une meilleure qualité de vie pour tous les peuples, les États devraient réduire et éliminer les modes de production et de consommation non viables et promouvoir des politiques démographiques appropriées.

**Principe 9 : Coopération en matière de renforcement des capacités**

Les États devraient coopérer ou intensifier le renforcement des capacités endogènes en matière de développement durable en améliorant la compréhension scientifique par des échanges de connaissances scientifiques et techniques et en facilitant la mise



au point, l'adaptation, la diffusion et le transfert de techniques, y compris de techniques nouvelles et novatrices.

**Principe 10 : Accès à l'information et participation aux décisions**

La meilleure façon de traiter les questions d'environnement est d'assurer la participation de tous les citoyens concernés, au niveau qui convient. Au niveau national, chaque individu doit avoir dûment accès aux informations relatives à l'environnement que détiennent les autorités publiques, y compris aux informations relatives aux substances et activités dangereuses dans leurs collectivités, et avoir la possibilité de participer aux processus de prise de décision. Les États doivent faciliter et encourager la sensibilisation et la participation du public en mettant les informations à la disposition de celui-ci. Un accès effectif à des actions judiciaires et administratives, notamment des réparations et des recours, doit être assuré.

**Principe 11 : Législation environnementale adaptée**

Les États doivent promulguer des mesures législatives efficaces en matière d'environnement. Les normes écologiques et les objectifs et priorités pour la gestion de l'environnement devraient être adaptés à la situation en matière d'environnement et de développement à laquelle ils s'appliquent. Les normes appliquées par certains pays peuvent ne pas convenir à d'autres pays, en particulier à des pays en développement, et leur imposer un coût économique et social injustifié.

**Principe 12 : Coopération économique internationale**

Les États devraient coopérer pour promouvoir un système économique international ouvert et favorable, propre à engendrer une croissance économique et un développement durable dans tous les pays, qui permettrait de mieux lutter contre les problèmes de dégradation de l'environnement. Les mesures de politique commerciale motivées par des considérations relatives à l'environnement ne devraient pas constituer un moyen de discrimination arbitraire ou injustifiable, ni une restriction

déguisée aux échanges internationaux. Toute action unilatérale visant à résoudre les grands problèmes écologiques au-delà de la juridiction du pays importateur devrait être évitée.

Les mesures de lutte contre les problèmes écologiques transfrontières ou mondiaux devraient, autant que possible, être fondées sur un consensus international.

**Principe 13 : Responsabilité (*liability*) et indemnisation**

Les États doivent élaborer une législation nationale concernant la responsabilité de la pollution et d'autres dommages à l'environnement et l'indemnisation de leurs victimes.

Ils doivent aussi coopérer diligemment et plus résolument pour développer davantage le droit international concernant la responsabilité et l'indemnisation en cas d'effets néfastes de dommages causés à l'environnement dans des zones situées au-delà des limites de leur juridiction par des activités menées dans les limites de leur juridiction ou sous leur contrôle.

**Principe 14 : Transfert de substances nocives**

Les États devraient concerter efficacement leurs efforts pour décourager ou prévenir les déplacements et les transferts dans d'autres États de toutes activités et substances qui provoquent une grave détérioration de l'environnement ou dont on a constaté qu'elles étaient nocives pour la santé de l'homme.

**Principe 15 : Précaution**

Pour protéger l'environnement, des mesures de précaution doivent être largement appliquées par les États selon leurs capacités. En cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement.

**Principe 16 : Internalisation des coûts**

Les autorités nationales devraient s'efforcer de promouvoir l'internalisation des coûts de protection de l'environnement et l'utilisation d'instruments économiques, en vertu du principe selon lequel c'est le pollueur qui doit, en principe, assumer le coût de la pollution, dans le souci de l'intérêt public et sans fausser le jeu du commerce international et de l'investissement.

**Principe 17 : Étude d'impact**

Une étude d'impact sur l'environnement, en tant qu'instrument national, doit être entreprise dans le cas des activités envisagées qui risquent d'avoir des effets nocifs importants sur l'environnement et dépendent de la décision d'une autorité nationale compétente.

**Principe 18 : Aide aux États sinistrés**

Les États doivent notifier immédiatement aux autres États toute catastrophe naturelle ou toute autre situation d'urgence qui risque d'avoir des effets néfastes soudains sur l'environnement de ces derniers. La Communauté internationale doit faire tout son possible pour aider les États sinistrés.

**Principe 19 : Communication d'information transfrontalière**

Les États doivent prévenir suffisamment à l'avance les États susceptibles d'être affectés et leur communiquer toutes informations pertinentes sur les activités qui peuvent avoir des effets transfrontières sérieusement nocifs sur l'environnement et mener des consultations avec ces États rapidement et de bonne foi.

**Principe 20 : Rôle des femmes**

Les femmes ont un rôle vital dans la gestion de l'environnement et le développement. Leur pleine participation est donc essentielle à la réalisation d'un développement durable.

**Principe 21 : Rôle des jeunes**

Il faut mobiliser la créativité, les idéaux et le courage des jeunes du monde entier afin de forger un partenariat mondial, de manière à assurer un développement durable et à garantir à chacun un avenir meilleur.

**Principe 22 : Rôle des cultures et collectivités locales**

Les populations et communautés autochtones et les autres collectivités locales ont un rôle vital à jouer dans la gestion de l'environnement et le développement du fait de leurs connaissances du milieu et de leurs pratiques traditionnelles. Les États devraient reconnaître leur identité, leur culture et leurs intérêts, leur accorder tout l'appui nécessaire et leur permettre de participer efficacement à la réalisation d'un développement durable.

**Principe 23 : Peuples soumis à oppression**

L'environnement et les ressources naturelles des peuples soumis à oppression, domination et occupation doivent être protégés.

**Principe 24 : La guerre exerce une action intrinsèquement destructrice sur le développement durable**

La guerre exerce une action intrinsèquement destructrice sur le développement durable. Les États doivent donc respecter le droit international relatif à la protection de l'environnement en temps de conflit armé et participer à son développement, selon que de besoin.

**Principe 25 : Interdépendance entre paix et développement durable**

La paix, le développement et la protection de l'environnement sont interdépendants et indissociables.

**Principe 26 : Règlement pacifique des différends**

Les États doivent résoudre pacifiquement tous leurs différends en matière d'environnement, en employant des moyens appropriés conformément à la Charte des Nations unies.

**Principe 27 : Coopération et solidarité**

Les États et les peuples doivent coopérer de bonne foi et dans un esprit de solidarité à l'application des principes consacrés dans la présente Déclaration et au développement du droit international dans le domaine du développement durable.